Die Kalk- und Gyps-Brennerei,

so wie

die Mörtel- und Stuck-Bereitung,

nach

ihrem neuesten Standpunkte.

Ein

Handbüchlein für Kalk- und Gypsbrenner, Landwirthe, Architekten, Bauhandwerker u. s. w.

Von

Carl Hartmann.

Mit 8 Tafeln Abbildungen.

Quedlinburg und Leipzig.

Druck und Verlag von Gottfr. Basse.

1850.

Vorwort.

Der Gegenstand der vorliegenden kleinen Schrift ist ein so wichtiger, und es ist darüber neuerlich so viel Neues und Treffliches in einigen ausländischen Werken, namentlich in:

Ronalds's & Richardson's Chemical Technology, or Chemistry, applied to the Arts and Manufactures. (Vol. II., London 1849), und in

Payen, Chimie industrielle (Paris 1849), so wie auch in den technischen Zeitschriften des In- und des Auslandes,

gesagt worden, daß diese gedrängte Uebersicht einem Bedürfniß abhilft. Der Verfasser darf daher deren

Herausgabe nicht weiter befürworten und hofft dafür den Dank des betreffenden Publikums zu erwerben.

Erster Abschnitt.

Vom Kalke.

Bedeutung des Kalkes.

Die Kalkerde (CaO) oder, genau genommen, vielmehr ihre Verbindung mit Wasser, das Kalkhydrat, der gelöschte Kalk CaO, H_2O) ist ein Mittel, welches seiner Wohlfeilheit und kräftigen chemischen Wirksamkeit halber in einem ungeheuren Umfange im Gewerbewesen in Anspruch genommen wird.

Die überaus eingreifende Nützlichkeit dieses Stoffes beruht vornehmlich in zwei Punkten. Sie beruht zunächst darin, daß der Kalk für sich oder als Hydrat, eine sehr stark ausgesprochene Fähigkeit besitzt, sich mit Säuren und zahlreichen den Säuren ähnlichen Stoffen zu verbinden; eine Fähigkeit, die ihn unter die starken Salzbasen nach den Alkalien einreihet. Er ist, chemisch zu reden, ein wichtiges Agens, welches für den Gewerbsmann noch darum eine ausgezeichnete Wichtigkeit erhält, weil es — dies ist der zweite Punkt — leicht und allenthalben gewonnen werden kann. Die Kalksteine, im Wesentlichen kohlensauren Kalk = CaO, CO_2 und als solcher eben das Material für die Kalkbrennerei, sind Glieder aller möglichen Gebirgsarten und machen einen beträchtlichen Theil der Erdrinde aus. Der kohlensaure Kalk hat nämlich die Eigenthümlichkeit, seine Kohlensäure schon bei mäßiger Glühhitze abzugeben und dadurch zu CaO, d. h. zu Aetzkalk oder gebranntem Kalk zu werden, welcher seinerseits bei der bloßen Berührung mit Wasser, dieses unter Zerfallen, d. h. indem er sich in ein höchst feines Pulver zertheilt, zu $CaO, H^2 O$, aufnimmt (mit der Aufnahme von Wasser geht aber bekanntlich die ätzende Eigenschaft des Kalkes nicht verloren, sondern wird ein Gegentheil erst recht entwickelt). Die technische Bedeutung des gebrannten Kalkes ist also die einer sehr starken Basis, welche leicht und überall, also

wohlfeil erhalten werden kann und sich von selbst durch Begießen mit Wasser in denjenigen Zustand der Zertheilung begiebt, ohne welchen ihre Anwendung mit den größten Unbequemlichkeiten verknüpft sein würde. Die Pulverform des gelöschten Kalkes ist um deswillen noch wesentlicher, weil das Kalkhydrat in Wasser nur sehr unbedeutend löslich ist (was ihn gegen die Alkalien zu seinem Nachtheil charakterisirt, denen er sonst an chemischer Wirksamkeit gewachsen ist). Es sind mithin nur Lösungen des Kalkes möglich, von einer so großen Verdünnung und Schwäche, daß sie, für die meisten Zwecke unfähig, die Anwendung des Kalks in Substanz und somit seine Zertheilung erheischen.

Diese allgemein aufgefaßte Bedeutung des Kalkes läßt sich leicht durch Beispiele der Praxis belegen. Dem Hüttenmanne also ist der Kalk die Basis, um daran die Kieselerde zum Behuf der Schlackenbildung zu binden; der Stearinfabrikant macht von den basischen Eigenschaften des Kalkes Gebrauch, um die fetten Säuren aus den Fetten zu scheiden; der Sodafabrikant zersetzt das Schwefelnatrium, der Seifensieder das kohlensaure Natron der Lauge durch ein stärkeres Agens, den Kalk; es ist die Eigenschaft der gewöhnlichen Basen, das Chlor aufzusaugen und zu binden, welche den Kalk zum Bleichkalk dienlich macht u. s. f.

Anwendung des Kalkes.

Im Laufe der vorhergehenden Abschnitte sind zahlreiche Anwendungen des Kalkes berührt worden; die späteren Abschnitte werden auf ebenso viel andere führen. In dem vorliegenden Abschnitte soll darum nur diejenige technische Benutzung des Kalkes eine Stelle finden, worin derselbe nicht ein bloßes Nebenmittel, sondern das Wesentliche und Hauptstoff ist, also seine Anwendung im Bauwesen, zu Mörtel. Man begreift darunter aus Kalk und passenden Zusätzen gemischte Massen, welche vermöge ihrer Fähigkeit zu Stein zu erhärten, zu versteinern, als Kitt zum Zusammenfügen von Mauersteinen dienen. Jene Steinbildung, oder Erhärtung, geht theils durch den Einfluß der Luft vor sich und findet im Wasser nicht Statt, theils ist sie umgekehrt wesentlich an die Vermittelung des Wassers gebunden. In beiden Fällen liegen so verschiedene chemische Thätigkeiten zu Grunde, beide sind von so verschiedener Beschaffenheit des Materials abhängig und endlich von so ganz verschiedener Anwendung, daß sich der Gegenstand von selbst unter die beiden Gesichtspunkte:

der gewöhnliche (Luft-Kalk) mit dem Luftmörtel,

der hydraulische Kalk und Wassermörtel unterordnet.

Erstes Capitel.

Vom Luftkalke.

Aus dem Gesagten ergiebt sich von selbst und insofern das Vorkommen des ätzenden Kalkes in der Natur unter die seltensten Erscheinungen gehört, daß man den Kalk in derjenigen Verbindungsweise aufsuchen und zu technischen Zwecken vorbereiten muß, welche sich am häufigsten und bequemsten darbieten. Diese ist nun, abgesehen von dem viel selteren Gyps, wovon im zweiten Abschnitt die Rede sein wird, der kohlensaure Kalk, der in der Natur, wie schon bemerkt, den wesentlichen Bestandtheil der Kalksteine ausmacht.

I. Vorkommen und Eintheilung der Kalksteine.

Es lassen sich die Kalksteine nach ihren äußeren, mineralogischen Kennzeichen auf folgende Gattungen zurückführen:

Körniger Kalkstein, von einem deutlich krystallinischen Korn, verschiedene Marmorarten (parischer, cararischer) und besonders der Urkalk sind Arten davon. Der bei Auerbach in der Bergstraße, wie die meisten anderen, erscheint gangförmig, d. h. er erfüllt eine breite Spalte im Granit und zwar durch Eindringen von unten auf. Er enthält häufig Glimmer, auch Flußspath, Silicate ꝛc.

Derber Kalkstein, von ebenso vielen Farbenvarietäten als der vorige, aber niemals so weiß. Wird in allen Flötzformationen angetroffen und erhält, je nach seinem Alter, oder je nachdem er ein Glied der einen oder anderen Abtheilung dieser Formation bildet, die Namen: Uebergangskalk, Grauwackenkalk, Kohlenkalk, Bergkalk, Muschelkalk, Jurakalk, Liaskalk ꝛc.

Breccienartiger Kalk, d. h. ein aus Kalksteinstücken bestehender, die durch Kalksteinmasse an einander gekittet sind.

Mergelkalkstein, mehr oder weniger gleichartig mit Thon gemengt, von dichtem erdigen Bruch. Er gehört ebenso wenig wie der vorhergehende ausschließlich einem Gliede der geschichteten Gesteine an.

Kieselkalkstein reich an Kieselerdegebilden, wie Quarz, Hornstein, Chalcedon, Opal ꝛc. Ebenfalls dicht, oft reich an Höhlenräumen, grau oder gelblich weiß.

Stinkkalk, ausgezeichnet durch seinen Gehalt an Bitumen, der sich beim Anschlagen und Reiben durch einen eigenthümlichen Geruch zu erkennen giebt. Gewöhnlich dicht und Schichtung zeigend. Wo er als unzusammenhängende erdige Masse vorkommt, auch Asche genannt. Dunkelfarbig.

Kreide, dicht, erdig, abfärbend, selten anders als weiß. Ausgezeichnet als Muttergestein der Feuersteine. Besonders an den Küsten des Kanals von Calais und auf der Insel Rügen entwickelt. Gehört ausschließlich der nach ihr benannten Formation an.

Grobkalk, dicht, erdig, bis sandsteinartig, stark Quarzsand und Thon führend. Nur der sogenannten Molasseformation abhängig. Geschichtet.

Kalktuff, Ablagerungen von Kalk, der ziemlich frei von fremden Beimengungen ist; bildet sich noch jetzt. Meist ungeschichtet. Theils locker, porös, erdig; theils dicht, in dichten Kalkstein übergehend. Der Dukstein und Travertin gehören hierher. Kalksinter heißt der Kalkstein, von ganz ähnlichem Ursprung, wenn die Ablagerung krystallinische Theilchen (Kalkspath oder Arragonit) gebildet hat, die sich rindenartig über einander gelagert haben, oft Säulen bilden (Tropfstein).

Diese Bildungen werden durch die lösende Wirkung des kohlensäurehaltigen Wassers auf kohlensauren Kalk veranlaßt.

Die Stalactiten und Stalagmiten, Fig. 1, welche sehr häufig die Decke und den Boden gewisser Höhlen überziehen, haben dieselbe Entstehungsweise. Das Wasser, welches das Gestein über den Höhlen durchdringt, lös't den kohlensauren Kalk mittelst der in ihm enthaltenen Kohlensäure auf. Indem es von der Decke herabtröpfelt, bleibt es einige Zeit hängen, wobei es einen Theil von der Säure verliert und daher auch einen Theil des kohlensauren Kalkes absetzt, der vorher aufgelöst enthalten war. Die Anhäufung dieser feinen Kalktheile bildet nach und nach die Stalactiten. Dasselbe findet auf dem Boden der Höhlen statt und giebt Veranlassung zu der Bildung der Stalagmiten.

Dolomit, durch hohen Bittererdegehalt charakterisirt; meist von krystallinischem Korn, selten erdig und derb. Nicht deutlich geschichtet. Zuweilen bituminös.

Die Kennzeichen, welche mit der Bildung der Erdrinde in Beziehungen stehen, also die geologischen und geognostischen, führen zu meist ganz anderen Unterscheidungen, als die mineralogischen. Kalksteine, die nach ihren äußeren Kennzeichen oft kaum oder nicht nachweisbar von einander abweichen,

können dessen ungeachtet ganz verschiedenen Formationen und Altern angehören, und umgekehrt. Die Beurtheilung eines Kalksteines ausschließlich nach einer Richtung muß also nothwendig auf einseitige Kenntniß führen. Einen ebenso einseitigen und noch beschränkteren Gesichtspunkt für die Beurtheilung würde das bloße Studium des chemischen Bestandes abgeben. Wenn man dagegen bedenkt, daß sich aus dem Vorkommen, der Ausdehnung, den Lagerungsverhältnissen der Kalke, besonders wenn sie gegen die übrige Beschaffenheit gehalten werden, Rücksicht auf die Entstehung der Kalksteine machen lassen, so läßt sich leicht voraussagen, daß aus einer solchen Vergleichung sehr interessante Beziehungen zwischen der Bildungsweise der Kalke und ihrer mineralogischen und chemischen Natur hervorgehen müssen.

Manche Kalke, wie der Urkalk bei Auerbach, enthalten augenscheinlich Beweise dafür, daß sie sich als geschmolzene Masse flüssig bewegt haben. Solche Kalke müssen einen hohen Grad von Reinheit besitzen, weil sonst (wenn z. B. Thon ꝛc. als Gemengtheil vorhanden gewesen wäre) das Resultat der Schmelzung und Erkaltung sicher ein anderes hätte sein müssen, als ein Gewebe von Krystallen aus kohlensaurem Kalke.

Andere Kalksteine, die durch Niederschlag aus aufgelösten Kalksalzen entstanden sind, lassen eher eine Einmengung von fremden Theilen erwarten, die sich gleichzeitig chemisch oder mechanisch abgesetzt haben. So enthalten einige Bittererde, Eisen, Mangan gleichförmig durch ihre Masse, während andere quarzartige oder thonige Theile theils ebenso, theils mehr schichtenweise, enthalten.

Wieder andere, und zwar eine lange Reihe von Kalksteinen, sind wesentlich durch Vermittelung der Thierwelt entstanden, wobei es sehr darauf ankommt, welche Stelle die Thiere in der allgemeinen Entwickelung einnehmen. So bauen noch jetzt die Korallenthiere in gewissen Meeren und Breiten ganze Inseln aus den Kalkhüllen ihrer Körper, wie sie in der Vorzeit z. B. den Jura und andere Gebirge aufgebauet haben. — Dem gegenüber stehen die Kalke, die nur Anhäufungen abgestorbener Schalthiere sind, wie der Muschelkalk (im engern Sinne). Die Schalen jener Weichthiere sind mehr oder weniger an Masse überwiegend, durch Kalk erfüllt und zu einem dichten Gestein an einander gekittet. Aber auch die Leiber jener Schalthiere sind nicht spurlos verschwunden, denn das, was man den bituminösen Bestandtheil derselben nennt, ist in der Regel nur der Rückstand der gestörten animalischen Organe, als thierische Substanz das Gestein durchdringend.

Von der Kreide endlich hat Ehrenberg gezeigt, daß sie, abgesehen von den größeren Versteinerungen, Belemniten ꝛc., nur aus kalkigen Polythalamien-Panzern mit geringeren Mengen von kieseligen Infusorien-Schalen besteht. Es ist also durch die Lebensthätigkeit dieser mikroskopischen Thiere der in dem Wasser, worin sie lebten, aufgelöste Kalk zur Bildung dieser Panzer und Hüllen verdichtet worden.

Während viele dieser Kalkbildungen aus dem Meerwasser entstanden sind, erscheinen andere entschieden als Ablagerungen aus süßem Wasser. Noch gegenwärtig entstehen in tausend Fällen Kalktuffe durch Quellen, welche durch ihren Kohlensäuregehalt unter größerem Druck der Atmosphäre die Kohlensäure theilweise verlieren und den Kalk fallen lassen.

Was die chemischen Verschiedenheiten betrifft, so stehen diese also in einem gewissen Zusammenhange mit dem Ursprunge der Kalke und sind gleichzeitig in hohem Grade maßgebend für seine technische Brauchbarkeit und sein Vorhalten bei der Anwendung; um deswillen und zur besseren Orientirung des Lesers ist die Zusammensetzung der Repräsentanten dieser Verschiedenheiten und ihrer Uebergänge hier in einer Tafel übersichtlich gemacht.

II. Chemischer Be

Ursprung der Kalke.	Kalkspath von Andreasberg.	Grobkörniger Kalkstein v. Paris.	Weißer körniger Kalkstein v. Drehbach.	Kreide v. Bougival.	Gelblichgrauer Kalk bei Lyon.	Süßwasserkalk v. Vichy.	Muschelkalk von Hollenhagen.
Analytiker.	Stromeyer.	Berthier.	Kersten	Laurent.	Berthier.	Berthier.	Brandes.
Kohlens. Kalk	99,54	98,5	96,30	9[illegible],50	94,0	87,2	83.83
= Bitterde	—	—	2,42	0,80	1,6	10,0	1,76
= Eisenoxydul	—	—	0,72	0,80	—	—	—
= Manganoxydul	—	—	0,40	—	—	—	—
Kieselerde	—	—	—	—	—	—	10,66
Thonerde	—	—	—	—	—	—	0,0
Eisenoxyd)	0,36	1,5	Spur	1,70	3,9	2,8	1,73
Mang:noxyd)	—	—	—	—	—	—	0,06
Wasser	0,10	—	—	1,20	—	—	1,93
Organische Substanz (Bitumen)	—	—	—	—	—	—	—
Ordnungs-Nummer:	1	2	3	4	5	6	7

stand der Kalksteine.

Ursprung der Kalke.	Süßwasserkalk bei Paris.	Dolomit von Liebenstein.	Dolomit von Villefranche.	Dolomit von Spezzia.	Dolomit von Scheidama.	Dolomit vom Dep. der Dordogne.
Analytiker.	Stromeyer.	Wackenroder.	Berthier.	Laugier.	Göbel.	Viat.
Kohlens. Kalk	74,5	63,87	60,9	55,36	53,50	50,5
" Bittererde	23,0	33,24	30,3	41,30	41,50	42,0
" Eisenoxydul	—	0,91 0,07	3,0	2,00	1,50	—
" Manganoxydul	—	—	6,0	—		—
Kieselerde	—	—	—	0,5	(2,7 unlöslicher Rückstand)	5,0
Thonerde	—	—	—	—		2,0
Eisenoxydul	1,2	—	—	—		0,4
Manganoxydul	—	—	—	—		—
Wasser	—	—	—	—		—
Organ. Substanz (Bitumen)	—	1,05	—	—		—
Ordnungs-Nummer:	8	9	10	11	12	13

Analysen von Bergkalkstein aus Northumberland, nach Colbeck.

	Harting-ton.	Kirk-heaton.	Belsai.	Aller-wash.	Dry-burn.	Oxford.	Stam-fordum.	Acro.
Kalkerde	34,0	27,4	39,0	49,39	38,5	42,8	52,0	37,9
Talkerde	6	4,4	1,4	—	—	—	—	—
Unauflösliche Stoffe	1,3	2,2	3,0	2,4	1,0	3,6	3,3	5,1
Kohlensäure und Wasser	63,5	65,7	56,6	49,0	60,5	53,6	43,5	57,0
	99,4	99,7	100,0	100,79	100,0	100,0	98,8	100,0

Magnesia-Kalkstein aus der Grafschaft Durham nach Johnstone.

	Gar-mondsay.	Stoney Gate.	Fulwell.	Seaham.	Seaham.	Hartle-pool.	Humbledon Hill.	Humbledon Hill.	Ferry Hill.
Kohlensaurer Kalk	97,5	99,00	95,0	96,5	95,0	54,50	57,90	60,41	54,10
„ Talkerde	2,5	1,61	2,1	2,3	1,3	44,93	41,80	38,78	44,72
Thonerde Eisen-rydul u. s. w.	Spur	0,27	0,3	0,2	0,2	0,33	?	?	1,58
Unlösliche Stoffe	Spur	0,12	2,6	1,0	3,5	0,24	0,28	0,81	4,60
	100,0	100,00	100,0	100,0	100,0	100,00	99,98	100,00	105,00 (?)

Gebrannter Magnesia-Kalkstein. — Richardson und Holmes.

	Ripon.	Knaresborough.	Fulwell.	Bolden.
Kalkerde	71,125	72,0	62,80	80,64
Talkerde	25,625	25,5	32,75	11,31
Eisenoxyd Thonerde	1,750	1,0	2,30	6,05
Unlösliche Stoffe	1,500	1,5	Spur	
Wasser	—	—	2,15	2,00
	100,000	100,0	100,00	100,00

Magnesia-Kalkstein. — Richardson.

	Near River Tyne.		Sunderland.		Rothbury (?)
Kalkerde	28,75	54,65	28,75	53,25	30,73
Talkerde	19,00	0,75	20,70	1,05	14,55
Thonerde und Eisenoxyd	0,75	0,45	3,15	1,15	4,41
Unlöslicher Stoff	4,85	—	Spur	1,60	7,10
Kohlensäure und Wasser	45,00	44,50	47,75	43,80	43,21
	98,35	100,35	100,35	100,85	100,00

Bergkalkstein 2c. — Richardson.

	Sholley-Bridge.	Haresshaw.		Kilbride.	Portugal.	
Kalkerde	44,43	32,31	54,88	49,68	51,86	48,11
Talkerde	1,27	Spur	Spur	1,26	2,00	2,76
Thonerde und Eisenoxyd.	1,15	4,59	Spur	4,51	0,29	4,45
Unlösliche Stoffe	—	29,65	1,55	2,12	—	2,50
Kohlensäure und Wasser	42,59	34,02	43,85	42,81	44,49	41,03
	89,44	100,57	100,28	100,38	98,64	98,85

Bergkalkstein.

	Durham. 1) Stanhope.		Schottland. 2) Broxburn.		Blair Adam.	Vereinigte Staaten. 3) Hudson River.
Kohlensaure Kalkerde	95,06	93,77	56,32	62,72	60,63	45,30
" Talkerde	2,46	,37	2,14	7,89	13,19	25,70
Thonerde, Eisenoxyd. 2c.	1,00	3,87	3,76	4,96	8,71	11,38
Unlösliche Stoffe	1,32	1,59	36,10	22,24	16,14	15,37
Wasser	—	—	1,90	0,98	0,30	2.25
	99,84	99,60	100,22	98,79	98,97	100,00

1) Johnstone. — 2) Fromberg. — 3) Beck.

Kalksteine aus Cumberland. — Johnstone.

	Bockermouth.	Brampton.	Relhead.
Kohlensaurer Kalk	94,86	94,56	95,95
Schwefelsaurer Kalk	0,23	0,32	0,24
Phosphorsaurer Kalk	—	0,33	—
Kohlensaurer Talk	1,26	2,32	0,54
Thonerde und Eisenoxyd	0,73	1,18	1,21
Kieselerde	2,92	1,29	2,06
	100,00	100,00	100,00

Kreide. — Römer.

	Mästricht.	Osnabrück.	Kromsberg.	Rethen.
Kohlensaurer Kalk	96,5	26,0	86,5	85,5
Kohlensaurer Talk	1,0	—	—	0,5
Thonerde und Eisenoxyd	0,5	7,0	4,0	3,0
Kieselerde	0,5	59,0	5,5	6,0
Wasser	1,5	8,0	4,0	5,0
	100,0	100,0	100,0	100,0

Kalksteine und Mergel von verschiedenen Fundorten in Norfolk. — Richardson.

lk	33,90	41,50	33,90	46,44	45,40
Talk	—	Spur	5,85	—	—
Eisenoxyd u. Thonerde	7,40	4,65	6,45	Spur	4,55
Thon	29,35	41,15	17,45	8,22	5,25
Kohlensäure u. Wasser	29,05	40,05	36,00	41,46	43,00
	99,70	100,35	99,65	96,12	98,20

Zusammensetzung schottischer Kalksteine. — Johnstone.

	Ardour.		Argyleshire.		Glen-harvie.
	1	2	Contyre.	Ban.	
Kohlensaurer Kalk	90,14	89,15	98,05	90,96	46,33
„ „ Talk	0,31	2,56	0,44	0,62	29,68
Thonerde u. Eisenoxyd	0,51	0,51	0,29	1,81	11,64
Kieselerdehaltige Substanzen	9,08	7,48	1,27	6,40	11,95
	100,04	99,70	100,05	99,79	99,60

	Berwickshire Langton. 1	2	3	4	Inverneshire. Beauly. 1	2
Kohlensaurer Kalk	43,85	47,00	39,01	43,81	93,82	94,10
" " Talk	33,34	38,04	30,25	39,50	1,64	1,00
Thonerde u. Eisenoxyd	1,59	1,99	1,39	3,57	0,99	2,16
Kieselerdehaltige Subst.	21,41	12,97	29,27	13,09	3,55	2,74
	100,19	100,00	99,92	99,97	100,00	100,00

	Assynt, Sutherlandshire.
Kohlensaurer Kalk	49,92
" " Talk	36,23
Eisenoxyd und Thonerde	4,70
Kieselerdehaltige Substanzen	7,92
Alkalinische Salze	,20
Gyps	,20
	99,24

Stirlingshire.	Boquhan. — Thomson. 1	2	3
Kohlensaurer Kalk	53,09	56,07	53,06
" " Talk	43,49	39,34	43,11
Phosphorsaures Eisen u. Eisenoxyd	0,96	0,74	2,34
Kiesel- und Thonerde	2,46	3,85	1,49
	100,00	100,00	100,00

	Stirling, Murray's Hall. — Sinclair.	
Kohlensaurer Kalk	93,32	97,80
Eisenoxyd	2,79	0,63
Kohlige Substanz	0,28	0,64
Kiesel- und Thonerde	1,36	1,92
	97,75	100,99

	Berwickshire, Tweed. — Stevenson.		
	I		
Kohlensaurer Kalk	49,60		
" " Talk	44,00		
Kieselerde	4,00		
Phosphorsaures Eisen	—	0,74	0,727
Eisenoxyd	1,20		
Thonerde	1,00		
	99,80		

Einfluß der Bestandtheile.

Die fremden Verbindungen, welche als stetige Begleiter des Kalkes auftreten, sind — wie sich auf den ersten Blick zu erkennen giebt — von zweierlei ganz verschiedener Natur. Es sind zunächst die Verbindungen der Kohlensäure mit Eisenoxydul, Manganoxydul und Bittererde, welche bekanntlich isomorph mit der Kalkerde sind — eine Beziehung, welche jedenfalls eine tiefere Bedeutung für die Entstehung der Kalksteine hat. — Schon in dem Kalkspath, also in dem vollkommen krystallisirten Mineral, macht sich ein Gehalt an kohlensaurer Bittererde bemerklich, der von Spuren und wenigen Procenten bis auf gleiche Aequivalente steigt (wo dann das Mineral Bitterspath heißt) und durch mehrere Zwischenstufen hindurch sich annähernd bis zum Verhältnisse von 1 CaO, CO_2 : 3 MgO, CO_2 erhebt. Dasselbe, was hier von dem Mineral gilt, gilt auch vom Kalkfelsen als Ganzes. Mit dem steigenden Bittererdegehalt gehen dieselben in die sogenannten Dolomite über und nehmen in demselben Grade ein verschiedenes Verhalten an. Während reiner gebrannter Kalk mit großer Kraft und Wärmeentwickelung Wasser anzieht und damit leicht einen zähen, unfühlbar zarten Teig bildet, während er, wie man sagt, sich f e t t verhält, sind die Magnesia führenden Kalke um so magerer und um so weniger hitzig, je mehr sie sich dem Dolomit nähern. — Das in den Kalksteinen so häufige Manganoxyd und Eisenoxyd mögen größtentheils durch die oxydirende Einwirkung der Luft auf die Oxydulsalze dieser Metalle entstanden sein.

Neben den kohlensauren Salzen sind die Kieselerde und Thonerde in den Kalksteinen von Interesse. Sie sind in den verschiedensten Verhältnissen, sehr häufig zu Thon verbunden, theils mit einem Magnesiagehalte gemeinschaftlich, theils allein vorhanden. Häufig ist die Kieselerde, niemals die Thonerde im Ueberschuß, so daß beide zusammen nach dem Auflösen in Säuren ungelöst zurückbleiben. Bei kleineren Mengen ist der Einfluß dieser Art von Beimengung unfühlbar oder verschwindend; wenn sie dagegen über 10 Proc. betragen, so bedeutend, daß die Kalksteine sich alsdann nur äußerst langsam und träge löschen, ein anderes Verhalten gegen Wasser zeigen und deßhalb eine ganz verschiedene Anwendung erfahren. Es wird davon weiter unten bei den hydraulischen Kalken die Rede sein.

Die bituminösen Theile und der Wassergehalt mancher Kalksteine sind für das Verhalten und für die Anwendung gleichgültig, da sie durch das Brennen zerstört oder entfernt werden.

Zur Vervollständigung der obigen Analysen muß erwähnt werden, daß fast alle Kalke nach dem Brennen und Löschen an das Wasser schwefelsaures Kali und Chlorkalium (oder die entsprechenden Natriumverbindungen) abtreten. Diese Salze, vielleicht auch kieselsaure Alkalien, sind ohne Zweifel schon in den rohen Kaklsteinen enthalten, deren Alkaligehalt theils wegen seiner Geringfügigkeit, theils darum von den Analitikern übersehen worden, weil man ihn nicht vermuthete, oder weil er als Kieselerdeverbindung mit dem Thone zurückblieb und nicht unterschieden wurde. — Die Gegenwart des Kalis in dem thonigen Bestandtheile ist von Fuchs, Kersten und Kuhlmann; Spuren von Phosphorsäure von Ersterem und Kaiser; endlich Spuren von Titansäure von Fuchs und Kersten nachgewiesen worden. — Das Kali ist, beiläufig bemerkt, eine der Hauptursachen der Fruchtbarkeit des Mergels.

III. Das Kalkbrennen.

Chemischer Vorgang. — Der kohlensaure Kalk wird bei der Temperatur der dunkeln Rothglühhitze vollständig in Kohlensäure und Kalk zerlegt. Die Temperatur der Zersetzung ist übrigens einigermaßen nach den Umständen verschieden, oder hängt vielmehr ganz und gar von der Leichtigkeit ab, mit der sich die Kohlensäure nach dem Austreiben entfernen kann. Sind die Kalksteine mit einer Atmosphäre von Kohlensäure bleibend umgeben, so wird die weitere Austreibung von Kohlensäure nach Faradey dadurch gehindert; umgekehrt wird die Austreibung der folgenden Antheile Koh-

lensäure beträchtlich erleichtert, wenn man für die rasche Entfernung des zuerst ausgetriebenen Antheils sorgt, so daß die Kalksteine stets in einer möglichst wenig von Kohlensäure gesättigten Atmosphäre liegen. In geschlossenen Gefäßen hört die Zersetzung sogleich auf, nachdem sich der vom Kalk nicht eingenommene Raum mit Kohlensäure angefüllt hat. Hall fand, daß Stücke von kohlensaurem Kalk, in einer Röhre eingeschlossen, also unter hohem Druck, im Porzellanfeuer unzersetzt, mit einem Verlust von höchstens 1 Proc. geschmolzen werden können und löste dadurch den anscheinenden Widerspruch, welcher in dem Vorkommen des Urkalkes liegt. Man sieht nämlich nicht sogleich ein, warum dieser in geschmolzenem Zustande heraufgedrungene Kalk nicht eben durch die Schmelzhütte seine Kohlensäure eingebüßt habe. Der hohe Druck, unter dem die Verflüssigung statthatte, erklärt aber nach dem Hall'schen Versuche die Sache von selbst.

Es ist an der Zeit, nach diesen mehr allgemeinen Betrachtungen einen Blick auf den technischen Betrieb des Kalkbrennens zu werfen, den man also als eine Zubereitung des Kalkes zu zahlreichen gewerblichen Zwecken betrachten muß. Es ist zwar im vorigen Abschnitte schon angedeutet worden, daß das Kalkbrennen sehr häufig gelegentlich mit dem Ziegelbrennen geschieht; dies ist indessen nur die Ausnahme von der Regel des gesonderten Betriebs, womit es sich übrigens ganz ähnlich mit der Ziegelbrennerei in sofern verhält, als der so allgemeine Bedarf des gebrannten Kalkes das Brennen in die Hände des rohesten und unbemittelsten Tagelöhners auf dem Lande, so gut wie in die Hände des geschicktesten Techniker und Kapitalisten in der Umgebung der großen Städte gelegt hat. Man hat also in den verschiedenen Ofeneinrichtungen und Verfahrungsweisen beim Kalkbrennen alle möglichen Stufen der Vollkommenheit zu erwarten von denen die im Folgenden beschriebenen Beispiele vorzugsweise charakteristisch sind.

1. Die Oefen in Rodheim.

Eine der einfachsten, aber auch rohesten Einrichtungen überhaupt ist die in der Umgegend von Gießen (bei Rodheim) gebräuchliche, worin man den dort anstehenden, dichten (Uebergangs-) Kalk brennt. Der Ofen, Fig. 2. ist ein senkrechter, aus demselben Kalksteine trocken (ohne Mörtel) aufgebauter Schacht, welcher so an einem steil abfallenden Hügel, Hohlweg und dergl. angebracht ist, daß man eben so leicht von oben her an die Gicht a zur Beschickung, als von unten her an die Feuerung b zum Schüren gelangen kann. Der Schacht selbst ist durchweg rund, hat oben

6′ Durchmesser und erweitert sich bis zum untersten Drittel allmählich auf 10 Fuß. Dort wird durch eine plötzliche Verjüngung des Durchmessers eine Art einspringenden Gesimses von 1 Fuß Breite gebildet, worauf die Verjüngung wieder allmählich weiter verläuft, bis der Durchmesser am Boden 6½ Fuß hat. Jenes Gesims läuft zwar ringförmig um den inneren Umfang des Ofens, aber nicht in einer Ebene, Fig. 2, sondern steigt gleichzeitig, wie die Abbildung zu erkennen giebt, gegen die Schüröffnung an. Das Einsetzen oder die Beschickung geschieht nun nach einem bestimmten Plane. Die Kalkbrenner fangen damit an, mittelst der größten und zu diesem Zwecke auserlesenen Kalkstücke ein spitzbogenartiges Gewölbe **c c** auf das Gesims aufzusetzen, welches dabei als Stützpunkt, als Widerlager dient. Auf dieses Gewölbe werden die übrigen Kalksteine durch die Gicht ohne Ordnung eingeworfen, aber doch mit der Rücksicht, daß die dickeren Steine zu unterst, die kleineren Abfälle obenauf kommen, wo sie hoch über der Gicht aufgehäuft werden. — Ist die Beschickung so vorgerichtet, so baut man in dem freien Raume unterhalb des Gewölbes einen Scheiterhaufen **d** von (Stock-) Holz und zündet ihn an. Die Handhabung des Feuers ist eine keineswegs gleichgültige Sache; die Möglichkeit, den Brand zu vollenden, hängt nämlich von der Dauer des Gewölbes **c c** ab, welches den Tragrost vertritt. Da nun die Steine desselben durch kein Bindemittel verbunden und im Gegentheil, in sofern sie unbehauen sind, sich nur an wenigen Stellen berühren und eine Menge Zwischenräume zum Durchlaß der Flamme bilden müssen; so kann schon eine einigermaßen gewaltsame Erschütterung den Einsturz des Gewölbes und die Unterbrechung der Operation nach sich ziehen. Bei plötzlicher und heftiger Einwirkung des Feuers sind aber die rasche Ausdehnung der Steine, sowie die allzuschnelle Verdampfung der natürlichen Feuchtigkeit, welche oft ein Zerplatzen der Steine verursacht, hinreichend nachdrückliche Erschütterungen, um eine solche Katastrophe herbeizuführen. Die Kunst des Kalkbrennens besteht darin, die Masse der Kalksteine so allmählich als möglich auf die Glühhitze zu bringen. Man nennt diese anfängliche Periode „das Schmauchfeuer," weil dabei die aus dem Brennstoffe entwickelten Gase wegen zu starker Abkühlung unvollkommen verbrennen und als dicker Rauch entweichen. Gewöhnlich steigt die Hitze in einem solchen Kalkofen in den zwei ersten Dritteln der Brennzeit, bis sie der Weißglühhitze nahe kommt, und fällt wieder im letzten Drittel. Das Feuern muß übrigens so lange fortgesetzt werden, bis die oberen Steine bei **a** die Gare zeigen. Während

des Brandes rücken diese wegen der Verminderung ihres Umfanges merklich zusammen, wodurch das über der Gicht Aufgehäufte allmählich einsinkt.

In einem Ofen, wie der abgebildete, dauert der Brand dreimal 24 Stunden und erfordert 60 Stecken Buchen-Stockholz (ungefähr 600 Ctr.), um 400 Bütten Kalk (= 4000 C.- F. h. = 2020 C.- F. rh.) gar zu brennen. — Es erfordert eine geraume Zeit bis der Ofen hinreichend kalt geworden, um die Steine ziehen zu können, was durch die Schüröffnung b geschieht. —

Die Uebelstände eines solchen Verfahrens, welche auf eine ungeheure Brennstoffverschwendung hinausgehen (den Zeitverlust kann man nicht anschlagen, weil ein solcher Brand nur nebenbei betrieben wird), liegen auf der Hand. Um den Ofen zu entleeren und wieder zu beschicken, muß man ihn jedesmal inzwischen erkalten lassen; es geht also die ganze Wärme, oder, was gleichviel besagt, der ganze Holzaufwand verloren, welcher geopfert werden muß, um die bedeutende Masse der Ofenwände auf den Hitzgrad des Kalkbrennens zu bringen. Es ist ferner einleuchtend, daß bei solchem Brande, zu einem gewissen Zeitpunkte die untere Hälfte der Beschickung gar sein wird, während die obere noch roh ist. Das Garbrennen dieses oberen Theiles, der dem Herde der Verbrennung sehr weit entrückt ist und eine Stelle einnimmt, auf welche sich die volle Wirkung der Flamme nicht mehr erstreckt, geschieht also unter ungünstigen Umständen und ist im Grunde nur durch einen größeren Aufwand von Brennstoff möglich, als an sich erforderlich wäre. Dadurch sind aber die unteren längst garen Steine der beständigen Gefahr des Ueberhitzens preisgegeben, wodurch ihre Güte wesentlich beeinträchtigt wird.

Es bedarf keines weiteren Beweises, daß die gerügten Mängel von dem Prinzipe der Ofeneinrichtung abhängen und folglich durch eine bessere Ausführung dieses Prinzipes höchstens gemildert, aber nicht gehoben werden können. Solche Verbesserungen bestehen theils in einem solideren Bau des Ofens aus wirklichem Mauerwerk, theils in zweckmäßigeren Dimensionen und Formen des Schachtes, theils in einer mehr gegen Feuchtigkeit gesicherten Lage und dergl. mehr.

2. Die Oefen bei Braunschweig.

Solche Verbesserungen enthält die Abbildung Fig. 3, eines Ofens, wie er bei Braunschweig gebräuchlich. Statt der roh aufgesetzten Mauer hat man hier eine Rauhmauer, in solidem Baue. Das Feuer liegt auf einem Roste, der den Aschenfall a

von dem Feuerraume b scheidet. Der Rost ist eigentlich ein durchbrochenes Gewölbe von Backsteinen, dessen obere Ansicht die Fig. 4 zeigt. —

Ein Ofen von der Art, der Rodheimer, ist ausdrücklich für Holzfeuer berechnet, weil ein dichterer Brennstoff, wie Steinkohle oder Torf, auf der flachen Herdsohle nicht gehörig Zug empfängt, um mit Vortheil gebrannt zu werden. Bei Torf, der reichlich Asche hinterläßt, ist die Verstopfung noch viel bedeutender. Es werden darum alle Oefen der fraglichen Art, Oefen mit unterbrochenem Gange, wie man sie nennt, stets mit Rosten versehen, wenn man auf Torf, Stein- oder Braunkohlen angewiesen ist.

3. Oefen mit ununterbrochenem Gange.

Diesen Oefen liegt die Idee zu Grunde, jene Hauptübelstände schon von vorn herein, im Prinzip auszuschließen. Diese Absicht, — wie schon der Name andeutet — giebt sich eben so sehr in dem Gange des Brandes als in der Bauart oder Construction zu erkennen. Die Fig. 5 stellt einen Ofen mit ununterbrochenem Gange für Steinkohlenfeuer, wie sie überaus häufig angetroffen werden, im senkrechten, Fig. 6 im wagerechten Durchschnitte durch die Ziehöffnungen dar. Der eigentliche Ofenraum stellt einen Schacht von der Gestalt eines umgekehrten Kegels vor, oben weit, unten enger. Ein besonderer Feuerherd ist nicht vorhanden, denn die Oeffnungen a a a, die sich in der vordern Ansicht, wie Fig. 7, darstellen und deren 3 vorhanden sind, dienen nur zum Ziehen der garen Kalksteine. Man fängt damit an, auf den Boden etwas Holz (nur zum Anzünden), dann eine Schicht Steinkohlen zu legen; darauf wird eine Schicht Kalksteine gebreitet, diese wieder mit Kohlen bedeckt, worauf eine neue Lage Kalkstein folgt, u. s. f. lagenweise. Die letzte Schicht Steine ist über der Gicht aufgehäuft, und an dem Einsinken derselben erkennt man das Fortschreiten des Brandes; denn in diesem Falle wird das Einsinken nicht nur von der Volumverminderung der Steine, sondern auch von dem Abbrennen der Kohlenschichten herrühren. Sobald die oberste Lage bis gegen den Ofenrand eingesunken ist, wird eine neue „Gicht" aufgegeben, wie man es nennt, d. h. frische Kohlen aufgeschüttet und darauf frische Kalksteine gestürzt. Unterdessen, in Zwischenräumen von ½ bis ¼ Stunde, werden die unten auf der Ofensohle angekommenen garen Gichten durch die Löcher a a a gezogen. Je tiefer eine Gicht im Ofen niedergeht, um so mehr werden ihre Kohlen verzehrt sein, und um so weniger Raum wird sie einnehmen; daher ist die Verjüngung nach unten die angemessenste Form des Schachtes. Was die Re-

gulirung der Hitze betrifft, so hat man es völlig in seiner Gewalt, dadurch, daß man mehr oder weniger starke Kohlengichten bei gleichen Steingichten aufgiebt, dieselbe zu vermindern, oder zu steigern. Will man den Zug vermindern, so schließt man die Oeffnungen aaa durch Vorstellsteine mehr oder weniger. Bei einem Ofen der obigen Dimensionen wurden in 24 Stunden 500 Cubikfuß h. Kalk gezogen und 40 Scheffel (= ungefähr 40 Ctr.) Kohlen verbraucht.

Ein anderes Beispiel für den Verbrauch und die Leistung giebt ein Ofen ähnlicher Construction (von Luemschwiller bei Mühlhausen). Er ist 14,4′ hoch, oben 13,6′ unten 4′ im Durchmesser weit und in einem Abstande von 2 Fuß über der Sohle, mit einem Roste versehen. Er faßt 400 Centner Kalk, wovon täglich $\frac{1}{3}$ gar wird. Die garen Steine werden gezogen, indem man die Roststäbe aus einander rückt, um sie durchfallen zu lassen. Eine einzelne Gicht braucht 4 Tage Zeit, um bis zum Roste zu gelangen und besteht aus Kalkstücken von ungefähr 54 C.-Z. im Mittel. Der Kohlenverbrauch ist beiläufig $\frac{1}{4}$ von dem der Kalksteine.

Aus der Abbildung eines Ofens von etwas anders construirten Ziehöffnungen, Fig. 8, ersieht man deutlich, wie die Kalk- und Kohlengichten auf einander folgen.

Die Steinkohlen sind ein Brennstoff, der sich leicht in kleine und kurze Stücke zertheilen läßt, oder als Grubenklein ohnehin in einem zertheilten Zustande ist, und mithin seine gehörige Ausbreitung und Vertheilung unter die Kalkgichten bequem macht und befördert. Auch kommt bei Steinkohlen der Umstand zu Statten, daß sie verhältnißmäßig wenig Asche hinterlassen, die leicht mit den Kalksteinen aus dem Ofen entfernt werden kann. Diese Verhältnisse gelten nicht mehr, weder für Holz, welches sich nicht gut vertheilen läßt und das regelmäßige Garen und Niedergehen der Gichten hindert; noch für Torf, der meist so viel Asche hinterläßt, daß dadurch der Ofen Gefahr läuft, verstopft zu werden. — Für die Fälle, wo der Vortheil des ununterbrochenen Betriebes mit der Holz- oder Torffeuerung vereinigt werden soll, erleidet aus diesen Gründen die Ofeneinrichtung eine entsprechende Abänderung. Während der Ofen seinen Charakter als stehender oder Schacht-Ofen völlig beibehält, wird der Brennstoff (anstatt mit dem Kalke abwechselnd aufgegeben zu werden) vielmehr zur Seite des Schachtes in besonderen Feuerherden verbrannt und die erzeugte Flamme durch den Schacht hindurch geleitet, der nunmehr nichts als bloße Kalkgichten enthält. Die Anzahl der Feuerungen, die immer symmetrisch um den Umfang des Schachtes vertheilt liegen müssen, richtet

sich nach der Größe des Ofens, so daß man drei-, vier-, fünfschüßige Oefen 2c., unterscheidet. Wie man sieht, ist der Brand in einem solchen Ofen allein bei einem Brennstoffe möglich, der eine lebhafte und lange Flamme giebt, wie Torf, Holz, Steinkohlen; für letztere nicht so vortheilhaft, als die am vorigen Falle entwickelte Einrichtung.

Das schönste Beispiel eines Kalkofens für Holz- und Torffeuer ist der

Kalkofen von Rüdersdorf,

dem einzigen Orte in der ganzen Ebene um Berlin, wo ein Kalklager angetroffen wird, welches wie eine Insel aus der Tertiärformation hervorragt. Es gehört dem Muschelkalke an und liefert den ganzen Bedarf für die Hauptstadt.

Die Abbildung Fig. 12 zeigt den senkrechten Durchschnitt durch die Axe des Schachtes, die Fig. 11 den wagerechten Schnitt, und zwar in der Höhe der Feuerungen, auf der rechten Seite in der Höhe der Zuglöcher, auf der linken Seite der Theilungslinie ZZ.

Nur der innere, zwischen den Buchstaben AA begriffene Theil gehört wesentlich zum Ofen. Die äußere Umfangsmauer BBB bildet mittelst der Gewölbe ppp, Räume, von welchen die in den unteren Stockwerken zum trockenen Aufbewahren des Brennstoffes und Kalkes, die im dritten und vierten Stocke zum Uebernachten der fremden Arbeiter 2c. dienen.

Der Schacht ist von der Gicht bis zu den Feuerungen 47,7 F. h. (= 38′ rh.), von da bis zu der Sohle 8,8 F. h. (= 7′ rh.), also im Ganzen $56\frac{1}{2}$ F. h. (= 45′ rh.) hoch; seine Weite beträgt bei der Gicht $7\frac{1}{2}$ F. h. 6′ rh.), eben so viel an der Sohle, und an der weitesten Stelle 10′ h. (= 8′ rh.) im Lichten. Er ist inwendig, also an der dem Feuer ausgesetzten Fläche, bis auf 40,2 F. h. (= 32′ rh.) von der Sohle aufwärts mit feuerfesten Steinen d′ ausgekleidet, welche in Absätzen $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ Steine stark sind. Die feuerfeste Schicht ist von der eigentlichen inneren Mauer dd umgeben, welche oben bei der Gicht bloß liegt. Beide sind endlich von einem Mantel ee aber in einem Zwischenraume von einigen Zollen umgeben. Einen solchen Zwischenraum, hier mit Asche ausgefüllt, nennt man eine „Füllung". Sie hat den doppelten Zweck: Einmal der Ausdehnung des Kernschachtes im Inneren Raum zu geben, welche bei dem vorhandenen Hitzgrade kräftig genug ist, einen fest anliegenden Mantel zu sprengen; dann aber auch die Wärme dadurch zusammen zu halten, daß die darin enthaltene Asche mit der eingeschlossenen Luft (als schlechte Wärmeleiter) der Hitze den Durchgang verwehrt. Abwechselnd, auf drei Seiten des sechseckigen Ofens

liegen die Feuerungen **bbbb**. Unter einem, wie der Schacht selbst, mit feuerfesten Steinen verkleideten Gewölbe **g** liegt der Brennstoff auf zwei durchbrochenen Thonplatten, welche zusammen den Rost bilden; in der Mitte, wo beide zusammenstoßen, sind sie von dem Gurtbogen **f** unterstützt. Eine eiserne Thür schließt den Eingang zur Feuerung, wodurch der Brennstoff besser zusammengehalten wird. Der Zug findet durch den Canal **h** unter die Rostplatten Zutritt. Die Asche sammelt sich in dem Aschenfalle **i**; soll dieser entleert werden, so zieht man die eiserne Schlußplatte **z** weg und die Asche fällt von selbst in den Raum **E**, von wo sie nach dem Erkalten mit Karren abgeholt wird.

Die Oeffnungen **aa** zum Ziehen des Kalkes sind, um das Nachfallen zu erleichtern, nach innen zu erweitert, und, um diese sonst beschwerliche Operation noch mehr zu unterstützen, ist die Sohle nach den Oeffnungen zu nicht nur geneigt, sondern auch noch besonders so construirt, daß die Steine von selbst nachsinken. Nach den drei Seiten nämlich, an denen die Ziehöffnungen liegen, bildet die Sohle vom Mittelpunkte aus Einschnitte oder Kerben; diese sind durch eben so viele Zwischenerhöhungen getrennt, auf welchen, weil sie eine Schneide bilden, die Steine nicht liegen bleiben. Diese werden alle in die Einschnitte, und wegen der Neigung derselben nach außen, auch den Ziehöffnungen zufallen. — Die durch diese Oeffnungen eintretende Luft würde eine schädliche Abkühlung hervorbringen, weil der Ofen schon durch die Feuerung hinreichend mit Luft gespeist wird; sie sind darum mit Eisenplatten verschlossen, die nur im Augenblicke des Ziehens geöffnet werden. — Vor den Ziehöffnungen steigt ein senkrechter Canal **k** aufwärts in den äußeren Raum **H**; er dient dazu, den Arbeiter gegen die allzuheftige Hitze zu schützen, indem die glühende Luft sogleich, ehe sie jenen trifft, nach **H** aufsteigt.

Während nun am Fuße dieses Ofens ununterbrochen gare Steine gezogen werden, so wird in der Mitte ohne Unterlaß gefeuert und von der Gicht aus stets frischer Kalkstein aufgegeben. Zu dem Ende ist die Gicht, die mit dem Steinbruche durch eine Eisenbahn in Verbindung steht, mit einer ringförmigen Platte **c** bedeckt und mit einem Geländer eingefriedigt.

Wenn der Ofen zum erstenmal gebraucht und in Gang gesetzt werden soll, so ist ein besonderes Verfahren nöthig. Im Anfange benimmt man sich nämlich gerade so, als ob die Feuerherde **bb** gar nicht vorhanden wären, füllt den Schacht bis zur Höhe derselben, also auf 8,8 F. an und brennt die Steine dadurch, daß man Feuer in den Ziehöffnungen unten anlegt. Sind sie gar, so füllt

man den Schacht vollends auf, indem man die Steine anfangs in Eimern hinabläßt und dann von oben hineinstürzt, bis sie auf der Gicht gehäuft liegen, und zündet das Feuer in den eigentlichen Feuerungen an und fährt dann in der gewöhnlichen Weise fort. Alle 12 Stunden wird nun Kalk gezogen und zwar 20 bis 24 Tonnen pr. auf einmal, was ungefähr 60 bis 72 Ctr. h. entspricht. — Man sieht hieraus, daß die Benennung dieser Oefen mit „ununterbrochenem Gang" eine uneigentliche ist, insofern das Ziehen stets in Perioden (bei dem Rüdersdorfer Oefen in zwölfstündigen) vor sich geht. Man würde die Kalköfen treffender eintheilen in solche, die zum Behufe des Ziehens kalt werden müssen, und solche, die heiß bleiben und fortarbeiten können.

Bei Rüdersdorf sind im Ganzen zwei dreischürige Oefen, ein vierschüriger, welcher 2600 C.-F. und ein fünfschüriger, welcher 3000 C.-F. Kalk faßt. Der vierschürige Ofen gab in 12 Stunden 60 bis 75 Ctr. garen Kalk; er braucht also mehr Brennstoff als der vierschürige, der eben so viel Kalk liefert. —

Im Jahre 1829, um ein Beispiel anzuführen, sind dort aus 26496 C.-F. h. Kalkstein 19196 C. F. gebrannten Kalkes erzeugt worden, was 72 Procent des Volumens entspricht; dabei gingen auf: 460 Stecken Holz zum Anfeuern und 547560 C.-Fuß. Torf zum Brennen.

Nach einem Versuche, der besonders dazu angestellt wurde, lieferte der Rüdersdorfer Kalkstein 52 Proc. gebrannten Kalk dem Gewichte nach.

5. Oefen in England.

In vielen Bleichfabriken Englands, wo man Kohlenklein von sehr backenden Kohlen brennt, schichtet man die Kohlen und den Kalk nicht wie in Fig. 8, denn die Kohlenschichten würden bei dem ersten Eindrucke der Hitze eine zusammenhängende Kruste bilden, welche den Zug im Schacht alsbald unterbrechen würde. Die Oefen sind vielmehr daselbst ganz nach Art der Rüdersdorfer angelegt, aber nur mit zwei gegenüberliegenden Feuerungen versehen; die Kohlen werden von oben (durch zwei besondere kleine Schächte) in ein Vorgewölbe hinuntergestürzt, wo sie der Schürer in Empfang nimmt.

Die Fig. 9 und 10 sind ein Längen- und ein Querdurchschnitt von einem englischen Kalkbrennofen, der ein sehr bedeutendes Produkt giebt. Der schraffirte Theil der Figuren ist der Ofenschacht und es werden alle an einander liegende Schächte mittelst Wagen, die über den obern Oeffnungen auf einer Bahn laufen, gefüllt. a a a a a a sind eiserne Klammern, um das

Mauerwerk zusammen zu halten. Die andern Theile der Abbildungen sind ohne Beschreibung deutlich.

6. Allgemeine Bemerkungen über Kalköfen.

So unwiderleglich auch die im vorhergehenden niedergelegten Data für eine bedeutende Brennstoffersparniß zu Gunsten der Oefen mit ununterbrochenem Gange sprechen, so würde es doch ein großer Verstoß gegen die Billigkeit sein, wollte man auf diesen Maßstab hin ohne Weiteres gegen die einfachen Oefen aburtheilen. Man darf nämlich nicht vergessen, daß Oefen, wie die Rüdersdorfer, den Unternehmer vollständig beschäftigen und folglich nicht wohl als Nebenerwerb neben der Landwirthschaft z. B. betrieben werden können; man darf aber eben so wenig außer Augen setzen, daß die Oefen ununterbrochenen Ganges auch ununterbrochen, d. h. in der nämlichen Zeit, viel mehr Kalk liefern als andere und mithin nur für einen bedeutenden und fortlaufenden Absatz wirklich geeignet sind. Eine rücksichtslose Verdammung der zu Anfang beschriebenen Oefen, wie sie auf dem platten Lande gewöhnlich sind, enthält also sehr häufig die ungereimte Zumuthung, mehr Kalk zu erzeugen, als möglicher Weise abgesetzt werden kann, wozu die kleinen Kalkbrenner unmöglich Beruf fühlen können. Wohl aber ist es dankbar anzuerkennen, wenn auf bessere Einrichtung jener Oefen in ihrer Art öffentlich eingewirkt wird, um so mehr, als das Kalkbrennen mit eine der stehenden Hauptquellen der Brennstoffverwüstung ist und somit von staatswirthschaftlicher Seite Beachtung verdient. Der sicherste Weg, um sich über den Betrag dieser Verschwendung einen allgemeinen Anhaltspunkt zu verschaffen, ist jedenfalls der, daß man die Menge Brennstoff theoretisch zu ermitteln sucht, welche zum Garbrennen von einem gegebenen Gewichte Kalk erforderlich ist und das Ergebniß als Maßstab an die praktische Erfahrung legt. Es erhellt aus Seite 56, daß 1 Pfd. Brennholz 26 Pfd. Wasser um 100° C. zu erwärmen vermag. Wird die specifische Wärme des Kalksteins und der Kohlensäure auf $\frac{1}{3}$ von der des Wassers *) und die Brenntemperatur des Kalkes auf 800° C. angeschlagen, so findet sich zuerst, daß 1 Pfd. Holz $3 \times 26 = 78$ Pfd. Kalk um 100°, folglich auch $\frac{78}{8} = 9{,}75$ Pfd. Kalkstein um 800° zu erhitzen vermag; oder es ist, mit anderen Worten, der Theorie nach in runder Zahl nur $\frac{1}{10}$ vom Gewichte des Kalksteins an Holz nöthig. Man braucht aber in der Praxis das Vier- bis Sechsfache

*) D. h. wenn Kalk und Kohlensäure eine dreimal geringere Wärmemenge bedürfen, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren.

davon! Freilich verliert der Kalkstein seine Kohlensäure, wenn er auch die richtige Temperatur erreicht hat, nicht mit einem Schlage, wie bei der Berechnung stillschweigend vorausgesetzt ist, sondern sehr allmählich; es handelt sich daher nicht bloß darum, die Beschickung des Ofens für einen Augenblick auf die erforderliche Temperatur zu bringen, sondern auch eine Zeitlang darin zu erhalten. Aber wenn man selbst mit Rücksicht auf den Verbrauch für letzteren Zweck, die oben berechnete Menge Holz verdoppelt (also auf $\frac{1}{5}$ erhöht), so bleibt immer noch ein Verlust, der diesem Betrage sicher gleich kommt, d. h. es ist als bestimmt anzunehmen, daß man in den Kalköfen ungefähr doppelt so viel Brennstoff verbraucht, als eigentlich sein sollte. — Da sich der Heizwerth der Steinkohlen zu dem des Holzes wie 60 : 26 verhält, so sollte man theoretisch auf 10 Pfd. Kalk nur 0,43 Pfd. Steinkohlen brauchen. Wie oben schon angegeben, braucht man aber auf 1 C.-F. Kalk $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ C.-F. Kohle, was auf 10 Pfd. Kalk 2,4 bis 3 Pfd. Kohlen, also ungeheuer viel mehr ausmacht.

So wie die Backsteine, so können auch die Kalksteine in Meilern gebrannt werden; es ist jedoch wegen der unregelmäßigen Form und der stärkeren Schwindung derselben bedeutend viel mißlicher und unterbleibt in der Regel.

7. Ausbeute.

Ganz reiner trockener kohlensaurer Kalk verliert 44 Gew.-Th. Kohlensäure beim Brennen und liefert 56 Th. Aetzkalk (CaO). In der Praxis ist die Ausbeute theils viel geringer, wenn der Kalk sehr feucht ist; theils auch größer, wenn er viel thonige Theile enthält, die gar nichts im Feuer verlieren. Im Allgemeinen lassen sich für die Grenzen der Ausbeute 45 bis 77 Proc. und für den gewöhnlichen Betrag derselben 54 Proc. veranschlagen. Die Schwindung ist nicht so beträchtlich, als man dabei erwarten sollte, weil der gebrannte Kalk sehr locker und porös bleibt. Das specifische Gewicht des Kalksteines vermindert sich um $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ beim Brennen, wobei sich die Abnahme des Volumens auf 10 bis 20 Proc. beläuft. Triest fand bei einem besonders angestellten Versuche das Gewicht eines soliden C.-F. h. Rüdersdorfer Kalkstein = 93 Pfd. nach dem Brennen = 48 Pfd., woraus sich der Verlust = 45 Proc. oder 48 Proc. ergiebt. Es nehmen, um ein anderes Beispiel zu geben, 100 Pfd. Rodheimer Kalk frisch 209, gebrannt (wie sie nur noch 60 Pfd. wiegen) 183 Raumtheile ein, schwinden folglich um $12\frac{1}{2}$ Proc. — Neben dem „Stückkalk" geben die Oefen stets etwas Abfälle, als „Mehl-

Kalk", welcher theils vom Splittern der Steine im Feuer, theils vom Zerreiben bei der Beschickung und beim Ziehen herrührt.

8. Einfluß des Wasserdampfes im Ofen.

Nach einer alten Erfahrung der Kalkbrenner sollen sich feuchte Kalksteine viel leichter brennen, als trockene. Diese Erfahrung, die so eingewurzelt ist bei denselben, daß sie lieber erdfeuchte Steine brennen als trockne, oder die trocknen zuvor besprengen, enthält allerdings eine Wahrheit, die aber von der Praxis vielfach mißverstanden wird. Um von vorn herein auf den richtigen Gesichtspunkt zu kommen, muß man sich den bekannten Satz vergegenwärtigen, wonach ein Gas oder ein Dampf einen gegebenen Raum (wenn auch nicht ganz so rasch, aber doch) in demselben Maße erfüllt, gleichviel ob jener Raum gänzlich leer, oder bereits mit einem andern (nur nicht von demselben) Gas erfüllt war; denn verschiedenartige Gase haben ein so kräftiges Bestreben, einander gleichmäßig zu durchdringen, daß dadurch oft ein nicht unbedeutender Widerstand überwunden wird. Wasser z. B. verdunstet in trockner Luft nicht schwieriger, als in dem leeren Raume; dagegen ist es ein Hinderniß für die weitere Verdunstung, wenn der leere Raum, oder die Luft über dem Wasserspiegel schon Wasserdampf enthält. Inwiefern dieser Grundsatz beim Kalkbrennen Geltung hat, ist von Gay-Lussac auf eine sehr anschauliche Weise zur Erkenntniß gebracht worden. Dieser treffliche Beobachter brachte Marmorstücke in eine Röhre, welche so in einen Ofen eingesetzt war, daß sich die Temperatur leicht und sicher reguliren ließ. Das eine Ende des Rohres war mit einer solchen Vorrichtung zur Entwickelung von Wasserdampf, das entgegengesetzte mit einer solchen zum Auffangen der Kohlensäure bestimmt. Die Temperatur wurde anfangs so hoch gesteigert, bis sich der Marmor stark zu zersetzen anfing, dann aber zur Sperrung des Zuges bis zur Dunkelrothglühhitze sinken gelassen, so daß alle Entwickelung von Kohlensäure aufhörte. Als man nun in diesem Zeitpunkte auf einmal Wasserdampf über den dunkelrothglühenden Kalk streichen ließ, erschien die Kohlensäure sogleich wieder in Menge und blieb unter diesen Umständen ganz vom Dampfstrom abhängig. Sie stockte beim Absperren und begann wieder mit dem Zulassen des Dampfes, nach dem Belieben desjenigen, der den Versuch leitete. Es ergiebt sich daraus auf's Entschiedenste, daß die Zersetzung des Kalkes unter dem Einflusse des Wasserdampfes bei einem geringeren Hitzgrade vor sich geht, als der gewöhnliche. Ganz dasselbe findet aber auch statt, wenn man den Dampfstrom durch einen Luftstrom ersetzt; folglich ist die Wir-

kung des Dampfes nur eine mechanische, welche darauf hinausläuft, um die Kalkstücke herum eine Atmosphäre zu bilden, welche kohlensäureleer ist und sich folglich in Bezug auf die Aufnahme von Kohlensäure ganz verhält wie ein leerer Raum. In dem einen Falle hat die sich entwickelnde Kohlensäure einen Druck gegen die bereits gasförmige zu überwinden, die völlig wegfällt, wenn der Raum um die Kalksteine gar nicht oder mit einem verschiedenartigen Gas erfüllt ist.

Daß der kohlensaure Kalk, in einer Atmosphäre von Kohlensäure geglüht, gar nicht zersetzt wird, ist, wie bemerkt, schon von Faraday und von Hall dargethan worden. Ja Petzhold hat sogar gezeigt, daß Aetzkalk, weißglühend (also bei einer Temperatur, bei der sich kohlensaurer Kalk längst brennt) einem Strome von Kohlensäure ausgesetzt, so viel davon aufnimmt, daß er mit Säuren heftig aufbraust und in Wasser nicht mehr zerfällt.

Wenn es nun auf der einen Seite auch gewiß ist, daß die Kalksteine unter dem Einflusse des Dampfes leichter garen, so ist dennoch sehr in Zweifel zu ziehen, ob das Brennen von feuchten Steinen einen wirklichen Vortheil gewährt. Denn feuchte Steine in den Ofen zu bringen, heißt noch lange nicht rothglühende Steine der Einwirkung eines Dampfstromes aussetzen, weil bei weitem der größte Theil des Wassers schon nutzlos (also mit Brennverlust) ausgetrieben sein wird, ehe die Steine zum Glühen kommen. Nur von dem geringen Rückhalte von Feuchtigkeit, welche dicke Kalkstücke noch im Innern enthalten, wenn sie äußerlich glühend sind, konnte allenfalls ein Erfolg angenommen werden. Bei den Oefen mit ununterbrochenem Gange wäre es wohl denkbar, den aus den frisch aufgegebenen Gichten entweichenden Wasserdampf (der doch unter Wärmeentziehung weggeht) durch die in der Gare begriffenen Gichten hindurch zu leiten. Allein alsdann müßte der ganze Gang des Ofens in seiner Richtung umgekehrt werden; man müßte also die Feuerungen des Rüdersdorfer Ofens z. B. oben unter die Gicht verlegen und den Zug mittelst eines besonderen Kamins von oben nach unten führen. Die Temperaturerniedrigung, die die Anwendung des Wasserdampfes erlaubt, ist aber gering und vielleicht zu unbedeutend, um eine umständliche Berücksichtigung zu lohnen. Doch verdienten Versuche im Großen zur Erledigung dieser Frage unternommen zu werden.

Daß die Flamme, d. h. der aus dem Brennstoffe sich entwickelnde brennende Gasstrom, die Luft oder den Wasserdampf nur schlecht ersetzen kann, ist aus dem Kohlensäuregehalt derselben von

selbst klar. Indessen sind einige Oefen, z. B. der der Fig. 8, mit einem besondern Kanale c versehen, durch welchen man zu den entwickelten Zwecke einen Luftstrom einleiten kann.

9. Chemische Veränderungen beim Brennen.

Um nach diesen Betrachtungen wieder den eigentlichen Faden aufzunehmen, ist es an der Zeit, einen Blick auf die chemischen Veränderungen zu werfen, welche die Kalksteine, die also nicht reiner kohlensaurer Kalk sind, im Feuer erfahren. Alle übrigen kohlensauren Salze verlieren eben so ihre Kohlensäure wie der Kalk, die Bittererde bleibt rein (als MgO) zurück, während sich das Mangan- und Eisenoxydul sogleich höher oxydiren. Das Wasser wird einfach ausgetrieben, die bituminösen, organischen Theile verbrannt. Dagegen findet eine wichtige Wechselwirkung zwischen der Kieselerde, sowohl der freien, als der an Thonerde gebundenen und dem Kalke statt. Der Kalk, einmal ätzend geworden, verbindet sich nämlich bei der Glühhitze mit der freien Kieselerde, oder zersetzt das Thonerdesilikat dadurch, daß er sich in diese Verbindung, ein Thonerde-Kalksilikat bildend, einschiebt; er wirkt, wie man sagt, aufschließend darauf. Es kann nach diesem Verhalten nicht auffallen, daß die fremden Gemengtheile einen Einfluß auf die Beschaffenheit des gebrannten Kalkes geltend machen. Bei den reineren Kalken, die wenig fremde Theile enthalten, ist dieser Einfluß verschwindend. Berthier hat einige Kalksteine zur Vergleichung nach dem Brennen untersucht. Da der Thon und die Kieselerde in diesen Beispielen in den Hintergrund treten, so zeigen sie um so deutlicher den Einfluß der Bittererde, wie folgende Zusammenstellung veranschaulicht, wobei von den übrigen Bestandtheilen abgesehen ist:

Seine Bestandtheile.

Ordnungsnummer.	1	2	*	*	5	6	8	10
Die frischen Steine enthalten:								
Kohlens. Kalk	9,70	98,5	96,5	95,0	94,0	87,2	74,5	60,9
„ Bittererde	2,0	0,0	2,0	1,3	1,6	10,0	23,0	30,3
Die gebrannten Steine enthalten:								
Kalk	96,4	97,2	95,4	93,5	91,6	86,0	78,0	60,0
Bittererde	1,8	0,0	1,8	1,0	1,5	9,0	20,0	26,2
Beschaffenheit derselben	sehr fett.	sehr fett.	sehr fett.	fett.	fett.	mittelmäßig fett.	mager.	sehr mager.

Anmerkung: Alle übrigen, mit Ausnahme der beiden mit * bezeichneten Arten, sind in der weiter oben mitgetheilten Tafel bereits unter gleicher Ordnungsnummer aufgeführt.

Eigenschaften.

Man sieht hieraus, wie die Bittererde bei einem Gehalte von 10 Proc. anfängt, die Erhitzung des Kalkes und seine Fähigkeit beim Löschen, einen zarten geschmeidigen Brei zu bilden, merklich herabzustimmen, d. h. ihn mager zu machen. Beträgt die Bittererde mehr als $\frac{1}{3}$, so steigt die magere Beschaffenheit bis zur Unbrauchbarkeit. — Die Beschaffenheit der Kalksteine hängt nicht lediglich von deren Beimengungen ab, sondern auch von der Leitung des Brandes; während nämlich ein Theil der Steine die rechte Hitze beim Löschen zeigt und leicht zerfällt, so finden sich hier und da einige träge, auf die das Wasser langsam oder gar nicht einwirkt. Man sagt dann, sie seien „todtgebrannt". Die Ursachen dieser Erscheinung sind mehrere. Entweder waren die Steine zu wenig erhitzt und haben keine oder nicht alle Kohlensäure verloren, oder es hat sich durch zu kurze, oder zu gelinde Einwirkung auf die einzelnen Kalkstücke halbkohlensaurer Kalk ($_2CaO, CO_2$) gebildet. Diese Verbindung hat die Eigenschaft, sich nicht zu löschen, d. h. nicht zu zerfallen, sondern im Gegentheil sich mit dem Wasser unter Erhärtung zu $CaO, CO_2 + CaO, H_2O$ zu verbinden. Fuchs hat von dem halbkohlensauren Kalke beobachtet, daß er nach dem völligen Brennen, wo er alle Kohlensäure verloren hat, zuweilen, aber nicht immer, das Wasser sehr langsam und ohne Temperaturerhöhung anzieht, sich also todtgebrannt verhält. Die Ursache dieser Erscheinung ist unbekannt. Ein dritter Grund des Todtbrennens der gewöhnlichen Kalksteine ist, daß der Kalk, der mit dem thonigen Bestandtheile ein Silikat bildet, äußerlich zu einer dichten Hülle zusammensintert, welche das Entweichen der Kohlensäure aus dem Innern verhindert, so daß ein roher Kern bleibt. Dies ist, was man am häufigsten unter todtgebrannt versteht.

Es ist einigermaßen wahrscheinlich, daß im Obigen die Erklärung einer Erfahrung liegt, die man mit den Auster- und Muschelschalen gemacht hat. Diese Schalen, obgleich sie einen kohlensauren Kalk ohne fremde mineralische Theile enthalten, erfordern bekanntlich eine höhere Temperatur zum Brennen, als gewöhnlicher Kalk und haben eine große Neigung, einen schlechtlöschenden, magern Kalk zu bilden. Die Gallerte der Schalen bildet eine schwerverbrennliche Kohle, die im Innern der kalkigen Masse lange

zurückgehalten wird, während sich der Kalk brennt. Wird aber gebrannter Kalk eine Zeitlang mit Kohle geglüht, so entsteht nach Fuchs jenes halbkohlensaure Salz ebenfalls.

Die damit in Beziehung stehenden Erscheinungen werden bei den hydraulischen Kalken in nähere Erörterungen gezogen werden.

IV. Das Löschen des Kalkes.

Der gebrannte Kalk ist weißgrau oder schmutzig weiß, selten rein, weiß von Farbe, ist viel weicher als frischer Kalkstein, aber noch hinreichend fest, um sich ohne Zerbröckeln transportiren zu lassen. Die krystallinische Beschaffenheit mancher Kalke ist nach dem Brennen noch erkennbar. Er ist leicht und in hohem Grade porös. In Folge dieser Porosität saugt der gebrannte Kalk das Wasser (ungefähr 18 Procent) mit Heftigkeit ein, wobei die in den Zwischenräumen befindliche Luft mit Geräusch vertrieben wird. Nach wenigen Minuten, bei magerem Kalke oft viel später, bemerkt man, daß der voll Wasser gesogene Kalk sich erwärmt; die Bindung des Wassers geht von diesem Augenblicke an vor sich. Man sieht die Kalkstücke unter Knistern zerspringen, sich abblättern, die Bruchstücke und Blätter zerfallen unter Ausstoßung von Dampf weiter und weiter, bis endlich das Ganze, unter bedeutender Vermehrung seines Umfanges, eine gleichförmige Masse eines schneeweißen, feuchten, zarten Pulvers, d. h. Kalkhydrat, bildet. Beim Bauwesen pflegt man den Kalk in den „Löschkasten", d. h. in flache, mit einer Stütze zum Ablassen versehene Kasten aus Bohlen zu bringen und so viel Wasser zuzugießen, daß die Kalksteine zum Theil eingetaucht sind. Während des Löschens geräth unter solchen Umständen das überschüssige Wasser in lebhaftes Sieden, während der Arbeiter vermittelst der Löschkrücke den zerfallenden Kalk gleichmäßig mit dem Wasser zu mengen sucht. Wenn der Wasserzusatz richtig getroffen war, so muß ein gleichmäßiger steifer Brei entstehen. Bei der Bildung von Kalkhydrat (CaO, H_2O) nehmen 100 Theile reiner Kalk 32 Th. Wasser, also nahe $\frac{1}{3}$ auf.

Als nächste Ursache der bedeutenden Wärmeentwickelung bildet sich der Uebergang des flüssigen Wassers in festes dar, in sofern das Kalkhydrat als eine feste Verbindung jedenfalls das Wasser auch in diesem Zustande enthalten muß. Gesetzt, man habe 3 Pfund gelöscht, so werden diese 1 Pfund Wasser (von 0° C. z. B.) binden und folglich in festen Zustand überführen. Bei diesem Uebergange wird eine Menge Wärme frei, welche hinreicht,

0,79 oder $\frac{4}{5}$ Pfund Wasser zum Sieden zu bringen. In der Praxis ist aber die Wärmeentwickelung viel bedeutender, denn es tritt bekanntlich noch Siedhitze ein, wenn man den Kalk mit der dreifachen Menge Wasser übergießt. Es ist mithin der Uebergang des Wassers in den festen Zustand keineswegs die einzige Ursache der Wärmeentwickelung, welche mehr in der Aeußerung chemischer Thätigkeit überhaupt gesucht werden muß. Der deutlichste Beweis dafür liegt darin, daß sich der Kalk auch mit Schnee oder Eis erhitzt. — Wenn man einen großen Ueberschuß von Wasser nimmt, so wird sich die entwickelte Wärme mehr vertheilen und weniger intensiv werden, sie ist bedeutender bei geringerem Zusatze und erreicht ihren Höhepunkt, wenn man gerade so viel zufügt, als gebunden wird. Es ist beobachtet worden, daß alsdann die Hitze bis zur Entzündung von Schwefel und Schießpulver, ja selbst von Holz steigt. Befeuchtet man den Kalk mit wenig Wasser im Dunkeln, so wird er glühend und leuchtet lebhaft; in diesem Falle hält der umgebende, sich nicht löschende Kalk die Hitze zusammen. Im Allgemeinen ist die Hitze um so bedeutender, je rascher sich der Kalk löscht, d. h. je reiner und je besser er gebrannt ist. — Wegen ihres Einflusses auf die Güte des Kalkes muß die Temperaturerhöhung stets beachtet und durch den richtigen Wasserzusatz im Zaum gehalten werden; wenn man den Kalk nämlich nur durch so viel Wasser löscht, als er aufzusaugen vermag, so bildet er kein zartes, sondern ein sandiges (grobkrystallinisches) Pulver, er ist „verbrannt", d. h. durch Löschen mager geworden. Es hat also seinen guten Grund, daß die Maurer den Kalk nicht zu Pulver, sondern gleich zu Brei löschen. Man bedarf dazu etwas mehr als 3 Theile Wasser. Bei einem Versuche gaben 83$\frac{1}{2}$ Pfund Rüdersdorfer gebrannter Kalk durch Löschen 281 Pfund steifen Brei und hatten folglich 197$\frac{1}{2}$ Pfd. Wasser oder ihr 2,4 Gew. aufgenommen. Sein Volum wurde dabei auf's 3$\frac{1}{2}$fache vermehrt, eine Größe, die zuweilen auf 3$\frac{1}{5}$ fällt, oft auf 3$\frac{3}{5}$ steigt. Diese Volumvermehrung, in der Kunstsprache das „Gedeihen", „Wachsen" genannt, hängt eben so sehr von der Art zu Löschen, als von der Reinheit des Kalkes ab. Wird der Kalk z. B. nur kurze Zeit in einem Korbe untergetaucht, so daß er sich zu Pulver löscht, und dieses nachher mit mehr Wasser zu Teig angemacht, so ist die Vermehrung nur 2$\frac{1}{2}$ Volumen; ist der Kalk vorher an der Luft zerfallen und dann zu Brei gelöscht, so giebt er nur 1,7 Volum.

1. Einwirkung der Luft.

Der Luft ausgesetzt, zerfällt gebrannter Kalk sehr langsam

und ohne alle Erhitzung nicht wie gewöhnlich, zu einem feinen, sondern einem rauh anzufühlenden, groben, mit kleinen eckigen, ziemlich harten Stückchen untermischten Pulver, welches mit Säuren stark aufbraust. Der Kalk verwandelt sich dabei nie in reinen kohlensauren Kalk, selbst nach 3 Jahren nicht, sondern wird unter gleichzeitiger Anziehung von Kohlensäure und Wasser zu der oben erwähnten Doppelverbindung, von welcher Fuchs gezeigt hat, daß sie aus gleichen Äquivalenten kohlensaurem Kalk und Kalkhydrat besteht, oder $CaO, CO_2 + CaO, H_2O$ ist. Die Bildung dieses Salzes dauert lange, erst nach 3 Monaten hört der Kalk auf, Wasser und Kohlensäure zu absorbiren. Wenn die Feuchtigkeit gänzlich ausgeschlossen ist, wenn man also trocknen Kalk auf trockne Kohlensäure wirken läßt, so wird selbst nach 8 Tagen keine Kohlensäure absorbirt. Es scheint daher die Bildung von kohlensaurem Kalke nur durch Zersetzung von Kalkhydrat vor sich zu gehen, bis ein Gleichgewichtspunkt zwischen der Anziehung des Wassers und der Säure zum Kalke eingetreten ist.

Da man beim Bauen genöthigt ist, Kalk vorräthig zu löschen, so pflegt man ihn gegen den Einfluß der Atmosphäre, welche ihn für die Anwendung zu Mörtel unbrauchbar macht, durch „Einsumpfen" zu schützen. Der Löschkasten befindet sich nämlich vor einer Grube, in welche man den gelöschten und zu Brei zergangenen Kalk hineinlaufen läßt, bis sie angefüllt ist. In dieser Grube wird der Kalk nach einiger Zeit noch fetter, zäher und speckiger, indem sich die trägeren Theile und was sonst noch entgangen ist, nachlöschen. Das überschüssige Wasser sammelt sich oben an und kann abgenommen werden, worauf man die Grube unmittelbar einige Zoll dick mit Sand bedeckt. Auf diese Weise bleibt der Kalk gänzlich unverändert. Als man, wie Jahn berichtet, in den Ruinen des Schlosses Landsberg im Meiningenschen aufräumte, um den Grund zu einem Neubau zu legen, fand sich unter einem Gewölbe eine noch gefüllte Kalkgrube von beträchtlichem Umfange. Die Oberfläche dieser Kalkmasse war mehrere Zoll tief kohlensauer geworden, alles Uebrige dagegen war in dem Zustande des frischgelöschten Kalkes, nur etwas trockner. Es wurde denn auch dieser über 300 Jahre alte Fund, dessen Werth mehrere hundert Gulden betrug, sofort in die Mauer des Neubaues verarbeitet.

2. Einsumpfen. Kalkwasser.

Bekanntlich löst sich der gelöschte Kalk bemerklich in Wasser, und zwar erfordert 1 Theil Kalk 778 Theile Wasser von 15,6° C. Die Löslichkeit nimmt mit steigender Temperatur des Was-

sers ab, so daß schon für dieselbe Kalkmenge 1280 Theile siedendes Wasser erforderlich sind. Gelöschter Kalk als Brei ist demnach Kalkhydrat mit Kalkwasser, d. h. Kalklösung, gemengt. Die Kalkmilch enthält so viel von letzterem, daß das Ganze flüssig bleibt. Das Kalkwasser hat eine stark alkalische Reaction; man hat bemerkt, wenn man mit demselben Kalke mehrere Quantitäten Wasser nach einander sättigt, daß alsdann das erste Kalkwasser viel stärker alkalisch reagirt, als die folgenden. Die meisten Kalksteine enthalten nämlich Chlornatrium und kieselsaures Alkali. Die Salze werden durch den Einfluß des Aetzkalkes zerlegt; es bildet sich Aetznatron und Aetzkali, welche (bei Steinkohlenbrand) theils schweflige Säure aufnehmen und an der Luft dann zu Schwefelsäure werden, theils Kohlensäure, um kohlensaure Alkalien zu werden. In Berührung mit Wasser entsteht aus den letzteren wieder Aetzkali. Es ist dies für die meisten Verwendungen des Kalkes wichtig zu wissen.

3. Darstellung von reinem kohlensauren Kalk.

Man erhitzt gebrannten Kalk mit einer Ammoniak-Lösung, und gießt die oben aufstehende Flüssigkeit ab. Ein Strom von Kohlensäure, der durch die Einwirkung der Schwefelsäure auf den Kalkstein veranlaßt wird, geht durch die Flüssigkeit, und es fällt kohlensaurer Kalk nieder, während andererseits wieder Ammoniak-Salz entsteht. Der schwefelsaure Kalk und die schwefelsaure Talkerde können anderweitig benutzt werden.

4. Aetzkalk im Kleinen zu bereiten.

Taucht man ein Stück Marmor oder Kreide (kohlensaurer Kalk) in fettes Oel oder in Zuckerlösung, so läßt sich dasselbe weit leichter und in geringerer Hitze seiner Kohlensäure berauben, d. h. in Aetzkalk verwandeln. Dieß beruht darauf, daß der Kohlenstoffgehalt des Zuckers oder Oeles die Kohlensäure der Kreide oder des Marmors in Kohlenoxydgas verwandelt, welches zum Kalk keine Verwandtschaft hat und eben deßhalb leichter entweicht.

Zweites Capitel.

Vom Luftmörtel.

Es ist bekanntlich ein Gemisch von Brei aus gelöschtem Kalk mit Sand, welches die Eigenschaft besitzt, in dünnen Lagen zwischen Mauersteine gebracht, nach und nach zur Festigkeit des Kalksteins zu erhärten, und dadurch die Steine fest zusammen zu kitten. Um die Grundsätze zu verstehen, von denen die richtige

Mischung des Mörtels abhängt, ist es nöthig, sich zuerst mit einigen Erfahrungen vertraut zu machen, die hier von dem größten Einflusse sind.

I. Bedingungen des Festwerdens.

Bloßer Kalkbrei ohne allen Zusatz erhärtet zwar ebenfalls, aber nur zu einer mürben Masse von geringerem Zusammenhang, welche unfähig ist, die Theile eines Mauerwerkes gehörig zu verbinden. Nur dann allein, wenn die Kalklage eine sehr dünne Schicht bildet, z. B. zwischen zwei abgeschliffenen Steinen, kann allenfalls eine feste Verbindung eintreten. Man muß den Kalk verhindern, irgend wie Massen, wenn auch nur von einiger Dicke, zu bilden, die in sich wenig Zusammenhang haben. Man muß im Gegentheile, weil der Kalk nur gegen die fremdartige Steinoberfläche festhaftet, diese Oberfläche durch Einmengen von einem körnigen Steinpulver vermehren. Dies führt von selbst auf die Bedeutung des Sandzusatzes im Mörtel, welche allein eine vermehrte Berührung zwischen der Steinfläche und dem Kalke zum Zwecke hat. Die Gestalt der Backsteine und behauenen Steine ist stets so unregelmäßig, daß beim Aufeinanderlegen sich wenigstens linienweite, bei Bruchsteinen sogar zollweite Fugen bilden. Kalk für sich, zwischen diese Fugen gebracht, würde daher linien- oder zollstarke Massen bilden, die nicht binden können. Wenn man aber dem Kalke ein sandiges Pulver irgend eines Steines untermengt, so hat man dadurch offenbar die Kalkmasse in eine große Anzahl dünner Schichten zertheilt oder eigentlich in Zwischenräume des Sandes angewiesen, wo er überall Anhaftungsfläche findet, um zu binden und die Bindung von Sandkorn zu Sandkorn auf den Stein zu übertragen.

Ferner ist es bekannt, daß selbst der beste Mörtel, wenn er rasch, z. B. auf dem Ofen rc., getrocknet wird, gar nicht erhärtet, sondern zerreiblich und locker bleibt. Wenn also auch der Luftmörtel, unter Wasser getaucht, lose bleibt und nicht bindet, so gehört doch zum Erhärten in der Luft nothwendig die Vermittelung der Feuchtigkeit. Endlich, wie sich von selber versteht, ist der freie Zutritt der Luft unumgänglich.

Wenn diese Rücksichten im Auge behalten werden, so ergeben sich die nächsten Regeln von selbst. Wenn auch andere Steinarten, z. B. Kalkstein, vom Korn des Sandes zu Mörtel tauglich sind, so wird man doch stets den Quarzsand als das Näherliegende wählen, aber das Korn ist nicht gleichgültig. Mit ganz feinem Sande wird der Mörtel zu dicht und der Luftzutritt zu sehr gehindert;

Sand von linsengroßem Korn (besonders wenn es eckig und scharf) ist noch vollkommen brauchbar; bei ganz grobem Sand, oder Grand sind die Zwischenräume zu groß, um allein mit Kalk gefüllt zu bleiben. Es ist dann am zweckmäßigsten, besonders wenn mit unregelmäßigen Bruchsteinen gemauert wird, den Sandzusatz von zweierlei Korn zu gleicher Zeit, also Sand mit Kies oder Grand anzuwenden. Nur wenn der Mörtel dazu bestimmt ist, als dünne Schicht die Oberfläche der Wände zu bekleiden, muß feiner Sand genommen werden. Je eckiger und je weniger abgerundet die Sandkörner, je besser. Von großer Wichtigkeit ist das richtige Verhältniß zwischen Kalk und Sand, und es hängt die Güte und Festigkeit des Mörtels davon mehr als von jedem anderen Umstande ab. Fehler gegen ein gutes Mischungsverhältniß werden auch durch die Zeit nie verbessert.

Im Allgemeinen soll der Kalk hinreichend sein, alle Sandkörner an einander zu kitten, dabei aber zwischen den Sandkörnern auf die möglichst geringste Masse beschränkt bleiben. Es soll also nur so viel Kalk genommen werden, als nöthig, die Oberfläche der Sandkörner zu überziehen, oder so viel, daß der Kalk als feuchter Brei die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern erfüllt. Diese Regel ließe sich auch dahin fassen, daß man für eine gegebene Menge Sand nicht mehr Kalk nehmen soll, als jener, ohne sein Volum zu vermehren, in sich aufnehmen kann. In der Ausübung pflegt man auf 1 C.-F. steifen Kalkbrei, 3 bis 4 C.-F. Sand (ungefähr 6 Theile dem Gewichte nach) zuzusetzen, wenn der Kalk fett oder sehr fett ist; magerer Kalk, den man gewissermaßen als schon mit einem Theile Sand versetzt betrachten kann, verträgt nur 1 C.-F. bis 2½ C.-F. Sand. Der Sand soll rein, d. h. nicht zu eisenschüssig, noch zu thonig, am wenigsten aber, wie Dammerde, mit Humustheilen vermengt sein.

II. Die Erhärtung und die dazu nöthige Zeit.

Wenn auch der Luftmörtel schon nach einigen Tagen oder wenigen Wochen hinreichend anzieht, um einer Mauer Widerstand gegen Druck und dergleichen zu verleihen, so schreitet doch die Erhärtung so langsam und nur so allmählich fort, daß sie ihren Höhepunkt — wo die Masse einer Mauer sich wie aus einem Steinstück verhält, — nicht nach Jahren, sondern erst nach Jahrhunderten erreicht. Die scheinbar so überwiegende Güte des Mörtels der alten gegen der der neueren Bauten, beruht lediglich in dem beträchtlichen Vorsprunge an Erhärtungszeit zu Gunsten der ersteren; um so gewisser, da sich kein wesentlicher Unterschied in der Mischung

oder den Bestandtheilen, nachweisen läßt. Wenn man also auf der einen Seite sieht, daß alte Bauwerke nur mit Pulver gesprengt werden können, wenn man sieht, daß durch die Gewalt des Pulvers von einem Thurme des Heidelberger Schlosses eine Hälfte abgesprengt und ungeborsten auf der Erde liegt; so darf man nicht vergessen, daß bei anderen Bauten sehr entschieden das Gegentheil stattfindet, und nur eben das Feste und Dauerhafte der Zeit getrotzt hat, während das Schwache und Unhaltbare längst untergegangen. Eben so wahrscheinlich ist es nun, daß unser Zeitalter in einer späteren Zukunft gerade so ein Muster des soliden Baues sein wird, als es das Mittelalter, und die Griechen und Römer für die Jetztzeit sind.

Die Erhärtung des Mörtels durch den Einfluß der Luft ist eine nicht so leicht zu erklärende Sache, als auf den ersten Blick scheinen dürfte. Man hat sogar darüber gestritten, ob sie eine Folge bloß physikalischer (mechanischer) oder ob allein chemischer Erscheinungen sei. Jedenfalls haben beiderlei Erscheinungen zugleich Antheil.

III. Anziehung der Kohlensäure.

Die Umwandlung des Kalkes (CaO, H_2O) in kohlensauren Kalk (CaO, CO_2) schlechthin, kann nicht die Hauptursache der Erhärtung sein; denn erstens zieht der Kalk (wie oben schon erörtert) an der Luft nur die Hälfte Kohlensäure an zu $CaO, CO_2 + CaO, H_2O$, und zweitens ist es bekannt, daß selbst bei den festesten Mauern der Kalk im Innern noch kaustisch, d. h. kohlensäurefrei ist. — Als man in Dresden zum Zweck eines Theaterbaues einen Theil der sehr starken Festungsmauer, deren Alter sich auf 300 und einige Jahre beläuft, wegsprengte, benutzte Petzholdt die Gelegenheit, den Mörtel zu untersuchen. Ein Theil davon grob zerstoßen, mit Wasser übergossen, gab eine Flüssigkeit (Kalkwasser), die stark alkalisch reagirte. Folglich war noch ätzender Kalk vorhanden. Kalte Salzsäure zersetzte den Mörtel unter starkem Aufbrausen; nach 10 Minuten bildete die Lösung eine steife Gallerte, ein Beweis, daß ein Theil des Kalkes an Kieselerde gebunden war. Ein ganz gleiches Verhalten zeigte Mörtel eines 100 Jahre alten Hauses. Folgendes ist das Ergebniß einer Analyse beider Mörtel:

	300jähriger.	100jähriger.
	Mörtel.	
Sand (in der Salzsäure ungelöst bleibend)	69,1	79,8
Kieselerde (Gallerte bildend)	6,2	2,1
Thonerde	0,4	0,016

	300jähriger.	100jähriger.
Eisenoxyd	1,4	0,16
Kalk (CaO)	4,2	4,3
Wasser und Kohlensäure	18,7	13,6
	100,0	99,9.

Es ergiebt sich daraus zuvörderst, daß in diesen Proben das Verhältniß von Kalk zu Sand dasselbe ist, wie noch heut zu Tage, denn 4,2 Kalk entsprechen 14 G.-Th. Kalkbrei; auf welche in dem älteren Mörtel 69 Sand, d. i. das 5fache, im jüngeren 79,8 Sand, d. i. das 5½fache des Kalkes kommen. — Es ist zu bedauern, daß Petzholdt versäumt hat, die an den Kalk gebundene Kohlensäure zu bestimmen, weil man daraus einen sicheren Maßstab für den Einfluß gewonnen hätte, welchen die Kohlensäuerung des Kalkes auf die Erhärtung ausübt.

IV. Silikat-Bildung.

Dagegen enthalten die obigen Zahlen das Maß für eine andere chemische Thätigkeit, der die Mitwirkung auf das Festwerden des Mörtels nicht abgesprochen werden kann. Es ist die Menge der gallertartigen Kieselerde, d. h. das Vorhandensein von Kalksilikat im Mörtel. Wenn auch ein Theil dieser Kieselerde ursprünglich mit zur Thonerde gehörte, und als Thon in dem Kalke vorhanden war, also schon beim Brennen durch den Kalk in Säuren löslich wurde, so ist doch offenbar viel mehr vorhanden, als der Thonerde entspricht; denn der gebrannte Kalk von Maxen (von wo Dresden seinen Kalk von jeher bezog) enthält nur:

Sand	1,3
Kieselerde (Gallerte bildend)	2,6
Eisenoxyd	2,1
Thonerde	0,15
Kalk	93,85
	100,00

so daß auf die 4,2 Th. Kalk in dem Mörtel höchstens 0,12 lösliche Kieselerde kommen. — Man fühlt sich also von selbst darauf hingeführt, den Ueberschuß der Kieselerde aus einem Einfluß des Kalkes auf den Sand zu erklären, d. h. der Bildung eines Kalksilikates auf nassem Wege aus diesen beiden Stoffen zuzuschreiben, einer Bildung, die nothwendig einen Theil zur Erhärtung beitragen muß. Dafür spricht schon der Umstand, daß in dem 300jährigen Mörtel mehr und zwar 3 mal mehr lösliche Kieselerde enthalten ist, als in dem 100jährigen. Um aus dieser Vermuthung zur Gewißheit zu gelangen, hat Petzholdt sogleich unmittelbare Versuche

eingeleitet. Zu dem Ende wurden 10 Gramme vollkommen kaustischer Kalk aus carrarischem Marmor mit 30 Grammen verschiedener sandartigen Zusätze versetzt, und wie Mörtel sich selbst überlassen. Die Mischung No. 1 enthielt chemisch dargestellte geglühte Kieselerde; No. 2 Quarzpulver aus einem Stück schneeweißen Quarzes, der glühend abgelöscht, gepulvert und geschlämmt worden; No. 3 weißen Sand, wie er in der Haushaltung zum Scheuern gebraucht wird; die groben Theile wurden erst durch Sieben, der Staub durch Schlämmen entfernt. No. 4 braunen, eisenschüssigen, ebenfalls geschlämmten Sand, und No. 5 mit demselben braunen Sande, den man vorher gänzlich durch Waschen mit Salzsäure gereinigt hatte. Von jeder Nummer wurden drei ganz gleiche Proben gleichzeitig angestellt, und zu verschiedenen Zeiträumen beobachtet. Es ergab:

Proc. lösliche Kieselerde.	No. 1.	No. 2.	No. 3.	No. 4.	No. 5.
in einer 8 Tage alten Probe	0,586	0,039	0,058	0,020	0,118
in einer 5 Wochen alten Probe	4,40	0,60	0,66	0,31	0,25

woraus hervorgeht, daß der Betrag der löslichen Kieselerde sich nach 5 Wochen verdoppelt bis verfunfzehnfacht hat und folglich die Bildung von Kalksilikat auf nassem Wege während der Erhärtung des Mörtels bewiesen ist. Daß diese Bildung einen Theil an der Erhärtung hat, ist gewiß, ob sie aber wesentliche Bedingung ist, wie Petzholdt meint, sehr unwahrscheinlich, weil nach der Erfahrung der Praktiker Quarzsand nicht nothwendig, sondern jeder andere Sand, wenn er auch nicht aus Kieselerde besteht, gleich tauglich ist. In dem Pompejanischen Hause in Aschaffenburg z. B. ist der Stucco ein Luftmörtel aus gelöschtem Kalke mit Kalksand. Ferner enthält der Mörtel römischer Bäder bei Gelnhausen, Dolomitasche (eine Art Kalksand) statt des Quarzsandes. —

V. Ursache der Erhärtung. Krystallisation.

Ohne Zweifel hängt die Erhärtung des Mörtels auch noch von anderen als chemischen Ursachen ab. Dahin gehört die Krystallisation des Kalkhydrats. Man muß sich erinnern, daß die Feuchtigkeit des frischen Mörtels nicht bloßes Wasser, sondern eine Kalklösung ist. Mit dem Austrocknen, also Verdunsten des Wassers, legt sich der gelöste Kalk nach und nach in sehr kleinen Krystallen an die Umgebung an. Diese Krystalle sind zwar spröde, so daß sie beim Biegen leicht zersplittern, sie vermögen aber eine Kraft, welche ausschließend zerreißend wirkt, einen ungleich kräftigeren Widerstand zu bieten. Sind also die Oberflächen, woran solche Krystalle anhaften, sehr genähert, so wird eine Kraft, die zu trennen strebt, an einem kurzen Hebel thätig sein und folglich mehr in einer Richtung jene Krystalle zu zerbrechen streben, in der sie gerade den größten Widerstand leisten. — Da wo die Feuchtigkeit des Mörtels mit der Luft zusammen kommt, also nach Außen zu, wird die Kohlensäure den Kalk daraus niederschlagen, und zwar ebenfalls in kleinen Krystallen, mit denen es sich ähnlich verhält. Das Wasser nimmt neuen Kalk, führt diesen ebenfalls der Kohlensäure zu u. s. f., so lange noch Feuchtigkeit vorhanden ist.

Alles zusammengefaßt, ist es am wahrscheinlichsten, daß die Erhärtung keiner Ursache ausschließend zukommt, sondern von allen zugleich bedingt wird, aber so, daß die Kalksilikatbildung und die Krystallisation das anhaltende Festwerden und Versteinern, die Anziehung der Kohlensäure dagegen das schnelle Erstarren bewirkt.

Bei dem Anziehen der Kohlensäure wird ein äquivalenter Theil Wasser aus dem Kalkhydrat abgeschieden, welcher zur Feuchtigkeit der Wände neubewohnter Zimmer und Häuser Vieles bei-

trägt. Die □.-Klafter zollstarker Kalkmörtelverputz wiegt über 3 Centner und enthält 13 Pfund Kalk (CaO), an welche zwischen 4 und 5 Pfund Wasser gebunden sind. Bei einem Zimmer von 10 Klafter Verputzoberfläche macht dies schon 40 und etliche Pfd. aus.

Schon vor Jahren ist (von Guyton und Carny) eine Methode, Soda aus Kalk und Kochsalz zu machen, angewendet worden, wonach man beide mengt und eine Zeitlang liegen läßt, bis sich Auswitterungen von kohlensaurem Natron zeigen. Dieser Vorgang, wenn auch zu schleppend und für die Sodafabrikation nicht brauchbar, zeigt doch, daß man den Kalk, oder Mörtel, nicht mit Wasser anmachen darf, welches Kochsalz enthält, am wenigsten mit Seewasser, weil dadurch nicht nur kohlensaures Natron, sondern auch Chlorcalcium entsteht; dieses zerfließliche Salz macht die Wände und Mauern feucht und bewirkt Lockerheit. Bei einer früheren Gelegenheit (Seite 278) ist gelehrt worden, daß wenn stickstoffhaltige Substanzen (Urin ꝛc.) an Mauern in Fäulniß übergehen, die Gegenwart des Kalkes im Mörtel leicht eine Salpeterbildung einleitet. Man sieht alsdann bei diesem Mauerfraß den salpetersauren Kalk als weißen Krystallanflug ausblühen. Sehr gröblich würde man sich aber täuschen, wollte man jede Ausblühung an Mauern für die Folge des Mauerfraßes (der Salpeterbildung) halten. Selbst bei noch im Baue begriffenen Gebäuden, wo also von etwas der Art noch nicht die Rede sein kann, sieht man häufig im Frühjahre an den Mörtelfugen weiße, mehlige, oft krystallinische Anflüge zum Vorschein kommen; Vogel hat solche Anflüge untersucht, welche Klenze an der Glyptothek und anderen Neubauten in München gesammelt hatte. Auch Kuhlmann hat diesem Gegenstande in Flandern ein umfassenderes Studium gewidmet, wodurch eine Menge interessanter Thatsachen entdeckt und die Ergebnisse von Vogel's Untersuchung bestätigt wurden. Nach beiden Beobachtern bestehen nun jene Anflüge aus: schwefelsaurem Natron, kohlensaurem Natron, Chlornatrium, kohlensaurem Kali und Chlorkalium. Sie entstehen eben so gut in Mauern aus Sandstein als in Backstein-Mauern, und stammen folglich nicht von den Steinen her, eben so wenig (wie Kuhlmann bewiesen hat) aus dem Sande, noch von dem Brennmaterial, womit man die Steine und den Kalk gebrannt hat. Die einzige Quelle dieser Alkalien sind vielmehr die Kalksteine selbst. Es ließe sich vermuthen, daß das Alkali aus der Asche der Brennstoffe an die Kalksteine übergeht; allein in geschlossenen Gefäßen gebrannt, zeigen die letzteren eben so gut einen Alkaligehalt.

Drittes Capitel.

Vom hydraulischen Kalk.

I. Zusammensetzung.

Bei der Analyse der Luftkalke ist schon hervorgehoben worden, daß die Kalke durch ihren Gehalt an Kieselerde oder Silikaten, wenn derselbe ungefähr 10 Proc. erreicht, andere Eigenschaften annehmen und die Fähigkeit erlangen, nach dem Brennen mit Wasser sich zwar träge und mager zu löschen, aber mit dem Wasser zu einem Teige angemacht, alsbald fest werden, und in diesem Zustande unter dem fortgesetzten Einflusse des Wassers einen bedeutenden Zusammenhang und steinartige Härte erlangen, ohne davon später wieder aufgelockert oder angefressen zu werden. Sie sind darum für den Wasserbau ein unschätzbares Material und werden sehr passend „hydraulisch" (von hydor, das Wasser) genannt. Da die hydraulische Eigenschaft ein rein chemischer Vorgang ist, so kann derselbe nur aus dem chemischen Bestande der Steine erklärt und begriffen werden. Man muß sich also vor Allem mit diesen Verhältnissen vertraut machen. Die nachstehenden sind die Ergebnisse von Berthier's und die letzte Nummer von Kersten's Analyse:

Die frischen Kalksteine enthalten in 100 Theilen:

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kohlensaurer	Kalk	90,0	89,2	89,0	89,0	85,8	82,5	80,0	79,2	76,5		
"	Bittererde	5,0	3,2	2,0	2,0	0,4	4,1	1,5	2,5	3,0	83,4	79,10
"	Eisenoxydul	—	—	—	—	6,2	—	—	6,0	3,0		
"	Manganoxyd	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	0,9	—
Kieselerde		—	—	—	—	—	—	17,0	6,5	10,6		
Thonerde								1,0	3,8	3,6	13,9	19,14
Eisenoxyd		5,0	7,8	9,0	9,0	5,4	13,4	—	—	—	1,72	1,70
Kohlenstoff		—	—	—	—	—	—	—	2,0	—	—	—
Wasser		—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—

Der daraus gebrannte Kalk enthält in 100 Theilen:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kalk	87,0	84,0	82,0	82,0	83,0	79,3	70,0	74 0	68,3		
Bittererde	4	2,5	1,5	1,5	—	3,5	1,0	2,0	2,0		
Thon	9,0	13,5	16,5	16,5	7,0	16,7	29,0	17,0	24,0		
Eisenoxyd	—	—	—	—	10,0	—	—	7,0	5,7		

No. 1. Ist ein Kalkstein von Vougy im Depart. de Loire; blätterig, gelblich, mit Ammoniten und Muscheln erfüllt.

No. 5. Kalkstein von St.-Germain; dicht, dunkelgrau mit weißen Adern, blätterig, Graphit führend. In Lyon allgemein zu Wasserbauten gebraucht.

No. 2. Kalkstein von Chaunay bei Macon; gelblich weiß, dicht, feinkörnig.

No. 3. Kalkstein von Digne (Jura); fest, mit Kalkspatschüren. Graphit enthaltend, dunkelgrau.

No. 4. Kalkstein mit dem vorigen vorkommend; hellgrau, im Ansehen verschieden.

No. 6. Flötzkalkstein von Nismes; dicht, gelblich grau; als hydraulischer Kalk sehr geschätzt.

No. 7. Mergelkalk von Semonches (Dep. Eure und Loire); im Wasser zerfallend (nicht mehr nach dem Brennen). Nach dem Auflösen in Salzsäure bleibt Kieselerde im Rückstande, die sich vollständig in Aetzkali löst.

No. 8. Dichter Kalkstein; Vorkommen unbekannt.

No. 9. Flötzkalk von Metz; dicht, erdiger Bruch, blaugrau.

No. 10. Kalkmergel und Blankonstein, und No. 11 von Helbigsdorf bei Freiberg.

Die ersten 5 Nummern liefern einen Kalk von sehr mäßigen, die folgenden 4 einen Kalk von stark hydraulischen Eigenschaften. Wie man sieht, steigen diese mit dem Betrage der in Salzsäure unlöslichen Theile. Diese letzteren bestehen meist aus einer Verbindung von Kieselerde und Thonerde, oft aber auch aus beinahe reiner Kieselerde in löslicher Form. Es ist nun von größter Wichtigkeit, diesen in Säure unlöslichen Gemengtheil näher kennen zu lernen, weil von ihm die hydraulische Eigenschaft abhängt. Darum hat man in neueren Analysen demselben mehr Sorgfalt gewidmet. So in folgenden Beispielen:

Beobachter.	Hermann Meyer.					
Ordnungsnummer.	1	2	3	4	5	6
Kohlensaurer Kalk	67,86	66,99	49,06	76,82	62,47	39,72
„ Bittererde	5,62	1,67	29,32	2,81	1,35	28,84
„ Eisenoxydul	3,30	6,95	16,83	3,21	5,85	7,50
Thonerde	—	0,39	—	0,89	0,93	—
Summe des in Salzäure löslichen	76,78	76,00	95,21	83,73	70,60	75,70
Kieselerde	15,57	16,89	3,35	11,03	20,93	nicht bestimmt
Thonerde	4,18	4,32	0,86	2,86	7,72	
Eisenoxyd	1,13	1,72	0,43	1,86		
Kalk	0,15	0,005	0,06	0,12	0,12	
Magnesia	0,57	0,37	0,01	0,05	0,30	
Summe des in Salzsäure unlöslichen	21,60	23,30	4,71	25,92	29,07	21,98

No. 1. Kalkstein vom Krienberge bei Rüdersdorf (Berlin), findet sich kaum anstehend unter dem Sande. Er gehört der obersten Abtheilung des Muschelkalkes an, ist in einem sehr verwitterten Zustande und kann als Luftkalk nicht gebraucht werden.

No. 2. Rundliche Kalknieren von der Insel Shppey; gelbbraun, derb und fest. Diese Nieren dienen in England zum sogenannten roman-cement und kommen im sogenannten Londonthon, einem Gliede des tertiären Gebirges, vor.

No. 3. Kalkstein und Muschelkalkformation, welcher das Dachgestein der Bleierzlagerstätte von Tarnowitz bildet. Blaugrau, derb, fast krystallinisch.

No. 5. Cementstein von Hausbergen unweit der Porta Westphalica, von der mageren Sorte; verwitternd, dunkelblaugrau, schiefrig.

No. 4. Cementstein von demselben Orte, fetter. Bei der Cementfabrikation werden beide Theile zu gleichen Theilen gemengt; sie gehören derselben Abtheilung des Jura an.

No. 6. Stein, woraus der Koch'sche Cement in Cassel bereitet wird; ein röthlich gelber, derber, dolomitischer Mergel aus dem unteren Muschelkalke.

Wir theilen hier noch folgende wichtige Untersuchungen über den hydraulischen Kalk mit:

Analyse zweier hydraulischer Kalke, eines englischen (Portland-Cement) und eines deutschen; von Anton Hopfgartner aus Wien.

Die Ursache der bedeutenden Verschiedenheiten sowohl in dem Grad als in der Zeit des Erhärtens verschiedener hydraulischer Kalke konnte wohl, nach vorausgegangenen Erfahrungen, bloß in der verschiedenen Zusammensetzung gesucht werden, und nur in Differenzen ihrer chemischen Bestandtheile konnte muthmaßlich die Erklärung für Erscheinungen liegen, die so häufig und so nachtheilig auftraten.

Auf Veranlassung des Herrn Prof. Pettenkofer begann ich daher in dessen Laboratorium die Analyse zweier hydraulischer Kalke, die bei der auffallendsten Verschiedenheit in allen ihren physikalischen Eigenschaften sowohl, als auch ihrer Brauchbarkeit am ehesten geeignet schienen, die Ursache dieser Verschiedenheit erkennen zu lassen, nämlich eines englischen, unter dem Namen Portland-Cement bekannten, und eines hiesigen, aus einem in der Gegend von Tegernsee gebrochenen Mergel gebrannten.

Der erstere ist in dem Zustande, wie er in den Handel kommt, ein graues Pulver mit einem Stich in's Grünliche, fühlt sich san-

dig an und hat das specifische Gewicht 3,050. Mit Wasser zu einem ziemlich dicken Brei angemacht, erhärtet er unter Wasser in sehr kurzer Zeit zu einer durch und durch gleichmäßig harten Masse, die schon nach einigen Tagen jedem Eindrucke mit dem Fingernagel widersteht.

Der hiesige hingegen, ein leichtes, sich mehlig anfühlendes Pulver, hat das spec. Gewicht 2,723, erhärtet, unter Wasser gebracht, sehr langsam, blättert sich oft in größeren Massen, und ist, selbst wenn er in einigen Wochen die Festigkeit erlangt hat, daß er keine Eindrücke mehr annimmt, in dem Kern der Masse weich und leicht zerreiblich.

Die qualitative Analyse ergab für beide Sorten ein gleiches Resultat: Kieselerde, Kalk, Thonerde, Eisenoxyd, Magnesia, Kali und Natron, Kohlensäure, Phosphorsäure, Schwefelsäure und Wasser.

Die Methode der quantitativen Untersuchung wurde mir von Herrn Prof. Pettenkofer angegeben, unter dessen gütiger Anleitung ich dieselbe und alle darauf bezüglichen Versuche ausführte.

Das Cement wurde so, wie es in den Handel kommt, also schon in ziemlich fein gepulvertem Zustande, zuerst mit Salzsäure behandelt und durch Eindampfen und abermaliges Lösen die Kieselerde abgeschieden und gewogen. Diese wurde mit Kalilauge gekocht, und auf diese Weise der in Salzsäure und Kali unlösliche Theil, der als „Rückstand" angegeben wird, bestimmt. In der von der Kieselerde abfiltrirten Lösung wurde der Kalk durch oxalsaures Ammoniak gefällt, und als kohlensaurer Kalk gewogen, hierauf nach Zusatz einer hinreichenden Quantität von weinsaurem Kali durch Ammoniak die Phosphorsäure an Magnesia gebunden, als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia, und die übrige Magnesia durch Zusatz von phosphorsaurem Natron gefällt; das Eisen, dessen Fällung durch Ammoniak, sowie die der Thonerde durch den Zusatz von weinsaurem Kali verhindert worden war, wurde durch Zusatz von Schwefel-Ammonium, als Schwefeleisen, die Thonerde durch Wasserglas-Lösung als kieselsaure Thonerde kochend gefällt. Durch Glühen wurde das Schwefeleisen in Eisenoxyd verwandelt und durch Salzsäure aus der kieselsauren Thonerde letztere aufgelöst und unter den nöthigen Cautelen mit Ammoniak gefällt.

Zur Bestimmung der Alkalien, sowie der Schwefelsäure, der Kohlensäure und des Wassers wurden frische Quantitäten verwendet. Bei Bestimmung der Alkalien wurde die Bittererde mit Barytwasser geschieden. Das Kali wurde als Kaliumplatinchlorid, das

Natron als Chlornatrium gewogen. Die Kohlensäure wurde mit dem Will'schen Apparat bestimmt, das Wasser durch Glühen in einer Röhre, Darüberleiten eines wasserfreien Stromes atmosphärischer Luft, und Aufsaugen des entweichenden Wassers in einem Chlorcalciumrohre.

Folgendes ist die gefundene procentische Zusammensetzung:

	a) des deutschen hydraul. Kalks.	b) des Portland-Cements.
Kalk	52,11	54,11
Bittererde	3,05	0,75
Kali	1,00	1,10
Natron	0,25	1,66
Thonerde	3,38	7,75
Eisenoxyd mit Spuren von Manganoxyd	3,20	5,30
Kieselerde	20,82	22,23
Kohlensäure	4,75	2,15
Phosphorsäure	2,55	0,75
Schwefelsäure	0,57	1,00
Unaufgeschlossener Thon (Sand)	1,90	2,20
Wasser	6,00	1,00

Aus diesen Daten ergiebt sich zur größten Evidenz, daß der chemische Unterschied, welchen die hydraulischen Mergelarten zeigen, auf jenen Theil derselben fällt, welchen man bisher schlechtweg Thon genannt hat. Es ist deshalb in Zukunft wohl zu unterscheiden zwischen Thon und Thon, da, wie in der Praxis längst bekannt ist, Mergelarten von ganz gleichem Thongehalt hydraulische Kalke von sehr verschiedener Güte liefern. Die einzelnen chemischen Beziehungen wird Hr. Prof. Pettenkofer in eigenen Bemerkungen zu obigen Analysen darlegen, auf welche ich deshalb verweisen muß.

Neben der chemischen Zusammensetzung ist von fast eben so entschiedenem Einfluß auf die Güte und Brauchbarkeit eines Cements seine Dichte und die Form der einzelnen Theilchen seines Pulvers, welche Eigenschaften auch mit dem größern oder geringern Gehalt an Aktien, Alkalien und so weiter zusammenhängen, da diese, durch die Bildung eines im Feuer leichtflüssigen Silikates ein, wenn auch oft geringes, Sintern und mit diesem eine Verdichtung und die Eigenschaft des Materials bedingen, sich, einem Glase ähnlich, blätterig in unregelmäßig geformte vieleckige Theilchen zu pulvern.

Daß der dichtere Cement, bei welchem in diesem Volumen mehr bindendes Material vorhanden ist, als in einem minder dich-

ten, auch verhältnißmäßig die bessern Dienste leisten wird, ist a priori schon anzunehmen, wurde aber noch durch die Thatsache bestätigt, daß von Proben verschiedener Cemente, unter übrigens gleichen Umständen, diejenigen am schnellsten und vollständigsten erhärteten, die dem dichtesten angehörten.

Eine bloß zum Vergleich ihrer Dichten dienende Zahl wurde dadurch bestimmt, daß die durch ein und dasselbe feine Sieb gleichgemachten Pulver beider Cemente nach einander in dasselbe Gefäß eingestampft wurden, wo dann das absolute Gewicht der so auf dasselbe Volum gebrachten Pulver den gesuchten Ausdruck lieferte.

Voraussätzlich hätten bei der wenigstens annähernden Gleichheit der Theilchen und des Volums, diese Gewichte im gleichen Verhältnisse stehen müssen, wie die entsprechenden spec. Gewichte; allein es ergab sich eine höchst bedeutende Differenz, die bei allen vielfältig wiederholten Versuchen immer als constante Größe auftrat und deßhalb nicht Ungenauigkeiten des Verfahrens zugeschrieben werden konnte.

Diese auf die eben angegebene Art gefundenen Gewichte gleicher Volumina betragen:

bei dem hiesigen	17,529
beim Portland	31,788

welche Zahlen im Verhältniß wie 1 : 1,813 stehen, während ihre schon oben angeführten specif. Gewichte sich verhalten wie 1 : 1,120.

Unter dem Mikroskope zeigt sich der hiesige aus runden, der englische aus Theilchen von Schieferthon bestehend, was sowohl der Art, wie sich beide anfühlen, als auch ihrem übrigen Volumsverhalten entspricht.

Bemerkungen zu der vorhergehenden Analyse eines englischen und eines deutschen hydraulischen Kalkes; von Prof. Dr. Max Pettenkofer in München.

Unsere wissenschaftlichen Kenntnisse über Kalk und Mörtel, sowohl über Luft- als Wassermörtel, verdanken wir bekanntlich fast lediglich den ausgezeichneten Forschungen von Fuchs, welche er in den Jahren 1829 bis 1832 zum Nutzen und Frommen des Allgemeinen bekannt gemacht hat. (Siehe dessen Abhandlungen: Ueber Kalk und Mörtel, in Erdmann's Journal für techn. und ökonom. Chemie, Bd. VI, und: Ueber die Eigenschaften, Bestandtheile und chemische Verbindung der hydraulischen Mörtel [eine gekrönte Preisschrift — aus den Natururkundige Werhandelingen van de Hollandsche Maatschappy der Wetenschap-

pen te Haarlem, XX. Deel. 173—218, übersetzt von Dr. C. G. Kaiser] im polytechn. Journ., Bd. XLIX. S. 271.)

Den hydraulischen Kalk anlangend ist seit Fuchs nichts mehr von allgemeiner Bedeutung erschienen, wohl vorzüglich deswegen, weil er in der That fast nichts mehr zu thun übrig gelassen hat. Er hat den ganzen Vorgang der Erhärtung und deren Bedingungen auf so einfache klare Prinzipien zurückgeführt, daß die fast räthselhaften Phänomene nun selbst jedem Laien klar erscheinen. Auch für die Erscheinungen des schnelleren und langsameren, oder des schwächeren und stärkeren Erhärtens, welche oft bei chemisch gleichen Cementen sich zeigen, und den Gegenstand der vorliegenden Abhandlung bilden, findet sich der Weg der Erklärung bereits von Fuchs angedeutet, indem er an mehreren Orten von verschiedenen Cohärenzzuständen der Kieselerde spricht.

Herr Hofbauintendant v. Klenze theilte mir seine Erfahrungen über die auffallend größeren Vorzüge eines englischen hydraulischen Kalkes (Portland=Cement) vor denen mit, welche wir in Deutschland gewöhnlich herstellen und benutzen. Er verschaffte mir behufs der Untersuchung des Gegenstandes verschiedene Proben sowohl von deutschen, als von englischen Fabrikanten. Dieses Portland=Cement hat selbst das einst so berühmte Roman=Cement weit übertroffen, als man in England vergleichende Versuche bezüglich der Festigkeit und Dauerhaftigkeit, die beide zu gewähren im Stande sind, anstellte. Man hat z. B. aus guten Backsteinen mit Sand und Portland=Cement, und eben so mit Roman=Cement Balken von 5' Länge gemauert, und sie nach 10 Tagen mit Lasten beschwert, bis sie brachen. Ein Balken mit Roman=Cement=Mörtel (1 Theil Cement, 1 Theil Sand) brach bei einer aufgelegten Last von 257 Pfd., während ein Balken mit Portland=Cement=Mörtel (1 Theil Cement, 1 Theil Sand) erst unter der Last von 837 Pfd. brach. Steinerne Balken mit Mörtel aus 1 Theil Portland=Cement und 2 Theilen Sand trugen 968 Pfd., aus 1 Theil Cement und 3 Theilen Sand 672 Pfd., aus 1 Theil Cement und 4 Theilen Sand 616 Pfd. Die Balken mit Roman=Cement gemauert brachen alle in den Mörtelfugen, die mit Portland=Cement alle im Steine.

Am auffallendsten ist oft die große Verschiedenheit in der Güte zwischen hydraulischen Kalken, die aus Mergeln von gleichem Thongehalt gebrannt worden sind. Diese Verschiedenheit kann möglicher Weise nur auf zwei Gründen beruhen: 1) auf der verschiedenen chemischen Beschaffenheit desjenigen Theiles der Mergel, der

gewöhnlich Thon genannt wird; 2) auf dem verschiedenen Grade des Brennens der Mergel, d. i. auf der Einwirkung des Aetzkalkes auf den thonigen Bestandtheil, was man in der Regel mit dem Ausdrucke: Aufschließen des Thones bezeichnet. In wie weit beide Momente daran Antheil haben, geht aus der vorausgehenden Analyse des Hrn. Hopfgartner deutlich hervor.

Die Differenz, welche die quantitative Analyse des englischen und deutschen hydraulischen Kalks anzeigt, besteht vorzüglich im Gehalte an jenen Bestandtheilen, welche gewöhnlich den sogenannten Thon der Mergel bilden. Genaue Untersuchungen haben mir ergeben, daß die Güte eines hydraulischen Kalkes vorzüglich von der Zusammensetzung des sogenannten thonigen Bestandtheiles der Mergel abhängig ist. Man hat bei den Mergelsorten bisher alles, was sich nicht in verdünnten Säuren lösen wollte, Thon genannt, und häufig geglaubt, daß mit diesem Namen immer ein und das nämliche bezeichnet sein müsse, obschon bereits Fuchs die verschiedene Zusammensetzung desselben erwiesen und hervorgehoben hatte. Nicht der Thongehalt eines Mergels überhaupt, sondern die chemische Zusammensetzung dieses sogenannten Thones ist wesentliche Bedingung für einen guten hydraulischen Kalk.

Dieser thonige Bestandtheil muß in der Art zusammengesetzt sein, daß die in ihm enthaltene Kieselerde nicht schon während des Brennens an den Kalk treten kann. Dieses wird aber nur dann leicht verhindert werden können, wenn sie hinlänglich mit solchen basischen Körpern verbunden ist, zu welchen sie in hohen Temperaturen eine größere Affinität, als zum Kalke, besitzt. Als solche bezeichne ich als die vorzüglichsten die Alkalien (Kali und Natron, dann Thonerde und Eisenoxyd). Das Brennen der Mergel hat, wie uns Fuchs so schön gezeigt hat, den doppelten Zweck, den kohlensauren Kalk zu Aetzkalk umzugestalten, und dann durch diesen gebildeten Aetzkalk den enthaltenen Thon aufzuschließen, d. i. für weitere Zersetzung zugänglich zu machen.

Der Prozeß, welchen man mit dem gepulverten und mit Wasser angemachten hydraulischen Kalk erzwecken will, ist nach Fuchs die Bildung eines Kalkhydrosilikates, welches den Zusammenhang des Wassermörtels bedingt, ähnlich wie das von Fuchs entdeckte Kalkhydrocarbonat das Bindende im Luftmörtel ist. Die Bildung solcher Kalksilikate kann auf mancherlei Weise zu Stande kommen. Es ist nun eine für die Praxis sehr gewichtige Frage: auf welche Weise geht die Kalksilikat-Bildung am leichtesten und vollständigsten vor sich? Die Antwort, welche allen bisher gemachten Er-

fahrungen entspricht, lautet: durch Substitution, d. i. dadurch, daß in der Glühhitze Silikate gebildet werden, welche andere Basen als Kalk enthalten, jedoch solche, welche bei der Behandlung mit Wasser ihren Platz, den sie der Kieselerde gegenüber eingenommen haben, theilweise oder ganz dem Kalk abtreten. (Beispiele, daß sich die Affinitäten in der Glühhitze und auf nassem Wege oft gerade entgegengesetzt verhalten, gehören in der Chemie zu den häufigen.) Sind diese basischen Körper in Wasser löslich (Kali, Natron), so werden sie aus der erhärteten Masse ausgewaschen (wie Fuchs zuerst beobachtet hat. Fuchs hat längst nachgewiesen, daß im Thone der Mergelkali- und natronhaltige Silikate sich befinden, und daß bei deren Berührung mit Kalk auf nassem Wege die Alkalien ausgeschieden werden. — Fuchs hat auf die Weise Kali und Natron ausgeschieden aus geschmolzenem Feldspath, aus Lenzit, und Analzim und Natrolith, aus dem Lithionglimmer überdieß Lithion. Er hat bei dieser Gelegenheit das Kali im Pechstein und Bimsstein nachgewiesen, in denen man es früher gar nie vermuthet hatte, ebenso wenig als im Mergel. Es ist deßhalb gar keine neue Entdeckung, welche Neuere gemacht haben, daß die Mergel kalihaltig sind); sind sie unlöslich (Thonerde, Eisenoxyd), so verbleiben sie darin, und bilden höchst wahrscheinlich basische Doppelverbindungen mit dem neuentstehenden Kalksilikat, da ja die Kieselerde mehr als irgend eine Säure die Eigenschaft besitzt, Doppelsalze in den verschiedensten Sättigungsgraden zu bilden. Fuchs (siehe dessen zweite Abhandlung) hat alle diese Verhältnisse bereits klar erfaßt, wenn er sich auch nicht des Ausdruckes Substitution bedient hat; denn was könnte er anders meinen, wenn er z. B von der Rolle des Eisenoxydes im Cemente spricht: „Es schließt nämlich die Kieselerde auf, wie andere Basen, oder hält sie, um mich so auszudrücken, offen, so daß sie dem Kalk auf nassem Wege zugänglich wird.“ An der nämlichen Stelle macht Fuchs auch darauf aufmerksam, daß durch ein Uebermaß solcher Basen, welche auf nassem Wege durch Kalk substituirt werden können, die Festigkeit des Cements sehr beeinträchtigt wird. Es unterliegt keinem Zweifel, daß in ein aufgeschlossenes Eisenoxydsilikat mit vorwaltendem Eisenoxyde durch die nasse Cementation Kalk in chemische Verbindung gebracht werden kann, dadurch, daß Eisenoxyd theilweise ausgeschieden wird. Dann liegen aber zwischen dem bindenden Eisenoxyd-Kalksilikat Eisenoxydmolecüle, welche in keiner chemischen Beziehung zum Silikate mehr stehen, mithin die Homogenität der Masse und dadurch deren Cohäsion verringern müssen.

Zugleich muß noch bemerkt werden, daß die Substitution, womit zugleich eine erneute chemische Verbindung des ausscheidenden Theiles mit dem neugebildeten Silikate zu Stande kommen soll, immer schwieriger und langsamer vor sich geht, jemehr die Kieselerde bereits mit in Wasser unlöslichen Basen gesättigt oder sogar übersättigt ist (Berthollet's Massenanziehungen). Fuchs sagt sehr richtig: „Das Eisenoxyd darf aber doch ein gewisses Maß nicht übersteigen, und nicht in so großer Menge vorhanden sein, wie es z. B. im Lievrit enthalten ist, der aus 32,2 Kieselerde, 56,5 Eisenoxydul und 11,3 Kalk besteht. Dieses Silikat giebt auch, wenn es geschmolzen wird, kein gutes Cement ab. Eben dasselbe gilt von den Eisenschlacken, welche sehr viel Eisenoxyd enthalten. Diejenigen aber, worin die Kieselerde vorwaltend ist, sind sehr gute Cemente, besonders wenn sie wenig oder gar keinen Kalk enthalten. Hierbei muß ich noch erinnern, daß sich die Kieselerde immer lieber mit zwei oder mehreren Basen verbindet als mit einer, und lieber noch von einer andern etwas aufnimmt, als von derjenigen, mit welcher sie schon verbunden und bis auf einen gewissen Punkt gesättigt ist. Es ist daher nicht gleichgültig, ob im Cemente mit einer gewissen Quantität Kieselerde ein gewisses Quantum Kalk, oder statt desselben ein äquivalenter Antheil Eisenoxyd verbunden ist. Im ersteren Falle wird die Verbindung ein minder gutes Cement abgeben als im zweiten, wobei jedoch das Quantitäts-Verhältniß wohl zu berücksichtigen ist. Würde man z. B. dem Kalk des Wollastonits (der Wollastonit enthält 52 Proc. Kieselerde und 48 Proc. Kalk) Eisenoxyd substituiren, so würde er ohne Zweifel in ein gutes Cement verwandelt werden."

Aus den bisher angeführten Grundsätzen lassen sich alle Erscheinungen mit Leichtigkeit erklären, welche beim Brennen der Mergel zu hydraulischem Kalke beobachtet werden.

Es giebt Mergel, welche ein gelindes, aber lange dauerndes Brennen erheischen; es giebt solche, welche nur eine kurz andauernde hohe Hitze ertragen, und solche, welche, gleichviel ob gelinder oder stärker gebrannt, vorzügliche hydraulische Kalke liefern.

Der erste Fall wird sein, wenn der thonige Bestandtheil sehr vorwaltend aus Kieselerde allein besteht. Dieser Fall kommt bei uns sehr oft vor. Der wichtigste Unterschied des Mergels liegt in dem verschiedenen Thongehalt, und in dem verschiedenen quantitativen Verhältnisse, in welchem die Kiesel- und Thonerde im Thone stehen. Die Thonerde scheint nie das Uebergewicht über die Kieselerde zu erhalten, sondern diese, wie in jedem andern Thon, fast im-

mer über jene weit vorwaltend zu sein — bisweilen so weit, daß die Thonerde kaum mehr in Anschlag zu bringen ist." Fuchs sagt, „daß der Thon bloß als ein feines, mit etwas Thonerde verunreinigtes Quarzpulver betrachtet werden kann." Die Hitze darf nicht höher getrieben werden, als eben ausreicht, den kohsauren Kalk ätzend zu brennen, und die Kieselerde in den sogenannten aufgeschlossenen Zustand überzuführen. Wird die Hitze zu hoch, so verbindet sich schon während des Brennens zu viel Kalk mit Kieselerde, was doch erst in Berührung mit Wasser geschehen sollte. Diese Mergelarten sind es auch meist, welche in sehr hoher Hitze leicht zu Schlacken fließen, in Folge der Bildung von kieselsaurem Kalke. Die Mergelarten mit sehr vorwaltender Kieselerde im thonigen Bestandtheile sind überhaupt am schwierigsten zu gutem hydraulischen Kalke zu brennen. Ist die Hitze zu schwach, so wird die Kieselerde nicht gehörig aufgeschlossen (besonders wenn das Quarzpulver etwas grob ist); — wird sie zu hoch, so verbindet sich schon ein großer Theil der Kieselerde während des Brennens chemisch mit Kalk und wird dadurch unwirksam für die Erhärtung unter Wasser. (Der Wollastonit ($_2SiO_3 + CaO$) bindet schon nicht mehr mit Kalk. Fuchs.)

Der zweite Fall wird sein, wenn der thonige Bestandtheil vorwaltend aus einer Verbindung von Kieselerde und Thonerde (den wir gewöhnlich reinen, plastischen Thon nennen) besteht. Dieser braucht erstlich eine hohe Temperatur, um aufgeschlossen zu werden, darf aber sodann nicht lange in diesem Zustande mit Aetzkalk geglüht werden, weil sich sonst schon im Feuer Kalk mit einem Theil Kieselerde des aufgeschlossenen Thones verbindet zu einem basischen Kalk-Thonerde-Silikat, welches später mit Wasser nicht mehr bindet. Günstiger stellen sich die Verhältnisse, wenn der Mergel zugleich reich ist an Eisenoxyd. Es tritt, wie im eben erwähnten Fall Kalk, so nun Eisenoxyd bei höherer Temperatur in die Zusammensetzung des Thons ein und schließt ihn auf. Das entstehende Eisenoxyd-Thonsilikat wird auf nassem Wege durch Kalk wieder in der Art zersetzt, daß durch Verdrängung von einem Theile der beiden Basen in Verbindung mit Kieselerde tritt. Aehnlich wie Eisenoxyd verhält sich auch das Manganoxyd (Roman-Cement).

„Sind Eisenoxyd und Thonerde zugleich vorhanden, und in einem solchen Verhältnisse, daß der Kieselerde das Uebergewicht über beide bleibt, so ist das Gemisch stets geeignet bei gehöriger Behandlung ein gutes Cement geben. Dies bewiesen mir mehrere sehr eisenhaltige Thonsorten und absichtlich gemachte Gemenge von

feuerfestem Thone und Eisenoxyd, welche, gehörig gebrannt, fast ohne Ausnahme einen hydraulischen Mörtel lieferten, der nichts zu wünschen übrig ließ. In Betreff der eisenhaltigen Thone ist noch zu bemerken, daß das Eisenoxyd größtentheils nicht chemisch gebunden, sondern bloß eingemengt ist — gewöhnlich als gelbes Hydrat oder zuweilen auch als kohlensaures Oxydul. Wird ein solcher Thon nicht zu stark gebrannt, daß nicht wenigstens ein Theil des Eisenoxydes mit der Kieselerde in chemische Verbindung gebracht wird, so giebt er selten ein gutes Cement ab, und ist manchmal als solches gar nicht zu gebrauchen. Dies trifft besonders dann zu, wenn wenig Thonerde und sehr viele Kieselerde vorhanden ist, wie es gerade bei den sehr eisenhaltigen Thonsorten fast immer der Fall ist. Dergleichen Thone müssen oft bis zur anfangenden Verschlackung geglüht werden, wenn sie mit Kalk im Wasser gut binden sollen. Dabei ändert sich ihre Farbe ins Graue, oder wenn sie sehr eisenhaltig sind, ins Braune oder Schwarze um, indem das Eisenoxyd mit der Kieselerde chemisch sich verbindet und sie aufschließt. Geschieht dieses nicht, so versagt mancher eisenhaltige Thon als Cement seinen Dienst, und man kann leicht auf den Gedanken verfallen, es sei das Eisenoxyd schuld daran, welches doch gewiß in diesem Falle höchst unschuldig ist. Fuchs hat gezeigt, daß unser gewöhnliches Ziegelmehl nicht als Cement gebraucht werden kann, als welches es oft gerühmt worden ist, selbst wenn die Steine ziemlich stark gebrannt worden sind, und daß sie erst bis zu dem Grade des Schmelzens erhitzt, wo sich ihre rothe Farbe in eine schwarzgraue umwandelt, wo sie ein graues Pulver geben, und wo sich das Eisenoxyd mit dem Thone verbunden hat, mit Kalk unter Wasser erhärten. Nach dem Erhärten unter Wasser zeigt sich eine viel hellere, lichtere Farbe, als vor dem Erhärten — ein sicheres Zeichen, daß das im Feuer entstandene Silikat durch Kalk auf nassem Wege zersetzt wird und aller Wahrscheinlichkeit nach zu basischen Doppelsilikaten; denn würde man annehmen, es würde durch Kalkhydrat ein nicht chemisch mit andern Substanzen verbundenes Eisenoxyd oder Eisenhydrat ausgeschieden, so müßte sich eine rothe oder rothgelbe Farbe zeigen, was aber nicht der Fall ist.

Die besten hydraulischen Kalke werden endlich jene Mergel liefern, welche als thonigen Bestandtheil Silikate enthalten, in denen alle Kieselerde mit solchen basischen Körpern hinlänglich (jedoch nie im Uebermaße) gesättigt ist, die im Feuer leicht aufgeschlossen, aber nicht durch Kalk getrennt werden, wohl aber im aufgeschlossenen Zustand auf nassem Wege mit Kalk cementirt von diesen

durch Substitution äquivalente Theile aufnehmen. Es versteht sich von selbst, daß ein Gehalt von thonigen Bestandtheilen an Kali und Natron vorzüglich günstig und beschleunigend auf die Erhärtung einwirken muß, weil diese Basen ihre Stellung der Kieselerde gegenüber gänzlich dem Kalk überlassen und in Wasser gelöst austreten. Denkt man sich in den beiden obigen analysirten Proben die enthaltene Kieselerde nach dem Brennen an Thonerde, Eisenoxyd, Kali und Natron gebunden, so wird man durch Vergleichung des Sauerstoffgehaltes der Basen mit dem der Kieselerde finden, daß in der englischen mehr von diesen basischen Körpern vorhanden ist, als zur Bildung eines neutralen Silikates nöthig, ist, in der deutschen hingegen weniger. Es enthalten nämlich:

A. Deutscher hydraulischer Kalk.

1,00	Kali	0,169	Sauerstoff.
0,25	Natron	0,064	"
3,80	Thonerde	1,774	"
3,20	Eisenoxyd	0,960	"
		2,967	Sauerstoff.
20,82	Kieselerde	11,031	Sauerstoff.

B. Englischer hydraulischer Kalk.

1,10	Kali	0,186	Sauerstoff.
1,66	Natron	0,428	"
7,75	Thonerde	3,618	"
5,30	Eisenoxyd	1,590	"
		5,832	Sauerstoff.
22,23	Kieselerde	11,755	Sauerstoff.

In einem neutralen Silikate soll sich der Sauerstoff der Basen zum Sauerstoff der Kieselerde verhalten wie **1** : **3** nach der allgemeinen Formel $MO + SiO_3$. Bei **A** verhält sich **2,967** : **11,031** = **3,71**, bei **B** **5,832** : **11,755** = **1** : **2,01**. Obwohl die Kieselerde von **B** jedenfalls als bereits mehr gesättigt wie die von **A** betrachtet werden muß, so geht doch die Erhärtung (die Kalksilikatbildung) bei **B** viel rascher und vollständiger vor sich als bei **A**. Es ist dieses ein werthvoller Beweis, daß chemische Neubildungen viel leichter von Statten gehen, wenn sie durch Substitution geschehen können, als wenn sie durch directe Vereinigung erfolgen müssen. Von diesem Gesichtspunkt aus ist auch die Erfahrung von Kuhlmann und Anderen zu betrachten, daß mittelmäßige hydraulische Kalke (welche sehr vorwaltend Kieselerde als thonigen Bestandtheil enthalten), mit Pottasche geglüht, an Güte

sehr zunehmen. Es bildet sich im Feuer kieselsaures Kali, welches auf nassem Wege mit Kalk behandelt, zersetzt wird, indem Kali aus der Verbindung mit Kieselerde tritt, und Kalk sich an dessen Stelle substituirt.

Wenn man ein Gemenge aus

22,2	Theilen	Kieselerde,
1,6	„	kohlensaures Kali,
3,0	„	kohlensaures Natron,
7,7	„	Thonerde,
5,3	„	Eisenoxyd,

einem heftigen Feuer aussetzt, so erhält man eine schwärzliche Schlacke, welche, fein gepulvert, mit Kalk und Wasser sehr gut erhärtet. Diese Schlacke befindet sich auch im Portland-Cement, und sie ist Ursache seiner dunklen, im feuchten Zustand schwärzlich-grünlich-grauen Farbe. Ich vermuthete anfangs, diese dunklen hydraulischen Kalke (wenn deren Farbe nicht etwa von Kohlen- oder Manganoxyd herrührte) müßten das Eisen als Oxydulоxyd enthalten; in dem Portland-Cement konnte ich aber bloß Eisenoxyd finden. Diese schwarze Farbe, von Oxyd herrührend, kann nicht auffallen, wenn man erwägt, daß wir im Mineralreiche mehrere durch Eisenoxyd grün oder schwarzgefärbte Silikate antreffen. Besonders sind jene durch eine sehr dunkle Farbe ausgezeichnet, welche Eisenoxyd und Thonerde zugleich enthalten, wie der Melanit $\left.\begin{matrix}Fe_2O_3\\AC_2O_3\end{matrix}\right\} SiO_3 + {}_3OaO, SiO_3$. Der gemeine Granat ($Fe_2O_3, SiO_3 + {}_3CaO, SiO_3$), wozu der Melanit gehört, hat weniger Thonerde als dieser — oft selbst nur Spuren. Es wäre uninteressant zu untersuchen, ob der Eisenkalkgranat, wenn er ganz Thonerde frei ist, eine gelbe oder röthliche Farbe besitzt, und ob grüne und schwärzliche Färbung von dem Vorhandensein von vivirender Thonerde abhängt und mit dieser zunimmt. Hieraus erklärt sich auch, warum sehr thonerdehaltige Gläser, wie unser gemeines Flaschenglas, dessen Farbe nach gewöhnlicher Annahme von Eisenoxydul herrührt, nicht durch Braunstein entfärbt werden können, dessen Wirkung lediglich auf Ueberführung von Eisenoxydul in Oxyd beruht. Glasflüsse, welche Eisenoxyd und Thonerde zugleich enthalten, scheinen eine eben so dunkle Farbe zu besitzen, wie die eisenoxydulhaltigen. Dieses beweist, daß der Stein, welcher das Portland-Cement liefert, so weit gebrannt wird, bis der darin befindliche thonige Bestandtheil in Fluß kommt (was bei dessen bedeutendem Alkaligehalte — über 8 Proc. — schon bei nicht zu

hohen Temperaturen erfolgen kann). Eine ähnliche Schlacke (wenn auch nicht so vollkommen geflossen) scheint sich auch in dem einst so berühmten Roman-Cement zu befinden (jedoch enthält dieses neben Eisenoxyd auch eine bedeutende Menge Manganoxyd). Ich verdanke der Güte des Hrn. Oberbergrath von Fuchs ein Bruchstück einer Mergelkugel von der Insel Sheppey, woraus der berühmte Roman-Cement bereitet wurde. Dieses Stück, so weit gebrannt, bis alle Kohlensäure entwichen war, lieferte ein mehliges Pulver, ganz von Ansehen wie unser gewöhnliches hydraulisches Kalkpulver, es erhärtete unter Wasser rasch und gut. Wurde der nämliche Stein stärker gebrannt, so nahm er eine schwärzliche Farbe an, war nun viel schwieriger zu pulvern, das Pulver fühlte sich nicht mehr mehlig, sondern sandig an, es erhärtete unter Wasser um etwas langsamer, wurde aber um ein Bedeutendes fester, als die schwächer gebrannte Probe.

Dieses Schmelzen des thonigen Bestandtheiles beim Brennen der Mergel ist in mehr als einer Hinsicht von der größten Wichtigkeit, und es ist leider bisher gar nie in Rechnung gezogen worden. Im Portland-Cement erleichtert ohne Zweifel der über das Kali überwiegende Natrongehalt sehr diese Schmelzung. Da die meisten Thone (welche Gemenge aus den verschiedensten Silikaten sein können) durchschnittlich mehr Kali als Natron enthalten, so zeigt dieses Portland-Cement eine auffallende Anomalie. — Es sind zwar mehrere Analysen von hydraulischen Kalken bekannt, welche gleichfalls mehr Natron als Kali angeben, aber in diesen ist das Natron, so viel ich aus der Angabe der Methoden entnehmen konnte, aus dem Verluste bestimmt worden, nicht durch directe Wägung, wie es Hr. Hopfgartner bestimmte. Bei diesen Bestimmungen aus dem Verluste können, wie sich jeder Analytiker oft schon überzeugt haben wird, mitunter sich ganz unerwartete Fehler einschleichen. Ein oft sehr geringer Natrongehalt macht eine Verbindung um ein Bedeutendes leichtflüssiger. Der Leucit ($3\,Al_2O_3, 2\,SiO_3 + 3\,KaO, 2\,SiO_3$) enthält 21,2 Proc. Kali und ist vor dem Löthrohr ganz unschmelzbar. Die entsprechende Natronverbindung, der Analcim ($3\,Al_2O_3, 2\,SiO_3 + 3\,NaO, 2\,SiO_3 + OHO.$) enthält, im wasserfreien Zustand berechnet, nur 15 Proc. Natron, und ist doch vor dem Löthrohre ziemlich leicht schmelzbar. Gemenge analoger Kali- und Natronverbindungen sind bekanntlich noch leichter schmelzbar, als das arithmetische Mittel, welches aus der Schmelzbarkeit der Verbindungen im reinen Zustand berechnet werden kann, erfor-

dert. Auf diesen Natrongehalt des Thones muß ich deßhalb ein sehr großes Gewicht legen. — Sollten sich daher Mergel finden, welche den gehörigen Gehalt an Kieselerde, Thonerde, Eisenoxyd und Kali, aber zu wenig Natron haben, als daß bei einer Temperatur, die der Mergel überhaupt noch vertragen kann, der sogenannte thonige Bestandtheil zu schmelzen beginnen könnte, so wäre dieses fehlende, ohnehin nur sehr geringe Quantum Natron auf eine leichte und wohlfeile Art beizufügen. Man braucht die Steine nur so weit zu erhitzen, bis eine geringe Quantität Kohlensäure daraus ausgetrieben ist. Hierbei ist natürlich der sogenannte Thon noch nicht im mindesten aufgeschlossen, und kann deßhalb mit dem Kalke selbst beim Befeuchten nicht in die mindeste chemische Wechselwirkung treten. Aber die Steine sind in ihrem Zusammenhange doch bereits so weit verändert, daß sie porös geworden sind, und Flüssigkeiten begierig einsaugen. Man könnte sie nun mit einer Lösung von kohlensaurem Natron (gewöhnlicher Soda) in Wasser, die je nach Bedarf schwächer oder concentrirter sein müßte, begießen, oder sonst damit tränken, nach dem Austrocknen an der Luft abermals brennen, und nun bis zu dem erforderlichen Grade. Ich habe nach dieser Richtung Versuche im Kleinen ausgeführt, welche von dem glänzendsten Erfolg belohnt worden sind. Ich erhielt aus meinen Mergeln Produkte, welche vor dem Portland-Cement in keiner Beziehung zurückweichen. — Die Anwendung von einem äquivalenten Theile Kali lieferte mir gar kein Resultat. Der Thon blieb trotz des bedeutenden Eisengehaltes ungeschmolzen, die Farbe des gebrannten Steines daher gelblich, und leicht zu pulvern. K u h l m a n n's früherer Vorschlag, den hydraulischen Kalk durch Glühen mit Pottasche zu verbessern, wird deßhalb nie in die Praxis übergehen, weil man, um eine Wirkung zu spüren, zu viel davon anwenden müßte. Ich bin eben damit beschäftigt, Versuche im Großen auszuführen, und werde dereinst deren Ergebniß zur Kenntniß bringen. Ich vermag nicht anzugeben, ob der Portland-Cement aus einem Mergel gebrannt wird, so wie er natürlich vorkommt, ob England auch hierin bevorzugt ist, einen Thon zu besitzen, der von den Alkalien vorwaltend das seltenere Natron enthält, oder ob auch dort durch die Kunst etwas nachgeholfen werden möchte. Der bedeutende Preis des Portland-Cementes (franco Köln 4 fl. rh. pr. Ctr.) läßt letztere Vermuthung nicht unmöglich oder ungegründet erscheinen. Es wäre auch denkbar, daß ein Gehalt des Mergels an Kochsalz (welcher

sehr häufig ist) beim Brennen unter Einwirkung der Ofengase das Natron an die Kieselerde lieferte.

Dieses Schmelzen oder doch Sintern des thonigen Bestandtheiles hat auch Einfluß auf den Geschmack des Portland-Cements, welcher sehr indifferent, kaum merklich alkalisch ist. Prof. Schafhäutl hat mir die für mich sehr interessante Notiz gegeben, daß die englischen Praktiker den hydraulischen Kalk kosten, und den, welcher sehr ätzend schmeckt, verwerfen, wenn er auch die gehörige Quantität Thon enthält, während sie einen hydraulischen Kalk von sehr mildem Geschmack vorziehen. Der Aetzkalk ist in diesem Falle allseitig von einer glasigen Decke umhüllt.

Dieses Schmelzen des thonigen Bestandtheiles des Mergels beim Brennen ist ferner ein höchst wichtiges und wesentliches Moment, weil davon eine bisher noch nie beachtete, aber für den Zweck sehr wesentliche physikalische Beschaffenheit des Pulvers, was nach dem Brennen daraus hergestellt wird, abhängig ist. Man sollte denken, daß Pulver ähnlicher Körper, welche durch ganz gleiche Siebe geschlagen worden sind, einen gegebenen Raum im Verhältnisse ihrer spec. Gewichte erfüllen sollten. Das spec. Gewicht der analysirten deutschen Probe war 2,723 — das der englischen 3,050. Nach den oben angegebenen Bestimmungen Hopfgartner's faßte ein gleiches Maß solche Quantitäten Pulvers (welches durch gleiche Siebe geschlagen war), die gar nicht im Verhältniß der spec. Gewichte standen. Die absoluten Gewichte gleicher Volumina dieser gleichgesiebten hydraulischen Kalkpulver wurden auf die Art bestimmt, daß in einem Glas mit 2''' weitem, horizontal abgeschliffenem Halse, etwas mehr als eine halbe Unze Wasser fassend, so lange von den trockenen Pulvern eingefüllt wurde, als durch länger fortgesetztes Aufklopfen auf den Tisch noch eine Volumsverringerung hervorgebracht werden konnte. Die einzelnen Wägungen mit dem gleichen Pulver stimmten unter sich so genau, daß sie bei Quantitäten von 30 Grammen nie um einen ganzen Centigramm, mithin bei weitem nicht um den tausendsten Theil des Gesammtgewichts differirten. Ein solches Gläschen wog

a) mit dem deutschen hydraulischen Kalk gefüllt 17,529 Gramme
b) mit dem englischen gefüllt 31,788 „

Da sich das specif. Gewicht von A zu dem B verhält = 2,723 : 3,050, so sollte man erwarten, daß von B nur 19,634 Gramme in das Gläschen hätten gebracht werden können. Es befanden sich aber 31,788 Gramme darin. Da man mit Leichtigkeit das Gläschen auch genau mit Wasser füllen und dessen Gewicht bestimmen

konnte, so ließ sich daraus das Gewicht von jedem beliebigen Volum Kalk berechnen. Es ergab sich, daß ein baierischer Cubikfuß (1 baier. Fuß = 0,29186 Meter) von der deutschen Kalksorte A 45 Pfd. (1 baier. Pfund = 560 Grammen) wog, von der englischen B hätte er, nach dem spec. Gewichte berechnet, wägen sollen 50 Pfd.; es wog aber in der That der baier. Cubikfuß 83 Pfd., mithin 33 Pfd. per Cubikfuß mehr.

Diese für den ersten Anschein höchst auffallende Thatsache klärte sich sehr einfach und genügend auf, als man die beiden Pulver, mit Terpenthinöl befeuchtet, unter dem Mikroskope betrachtete. Beobachtet man die im Terpenthinöl schwimmenden und rotirenden Theilchen, so sieht man, daß das Pulver des Portland-Cementes fast nur aus kleinen Blättchen oder Schiefern besteht, während das des andern sich sehr der Kugelform nähert. Denkt man sich beide in auf einander liegenden Massen, so läßt sich das eine einer Mauer von Quadern, das andere einer Schicht von Rollsteinen vergleichen; beim ersteren berühren sich Flächen, beim letzteren Punkte, daher so viel Zwischenräume mehr, als beim ersteren. Hieraus ergiebt sich, daß selbst bei gleicher chemischer Zusammensetzung ein Cement gut und besser sein kann. Diesem physikalischen Umstande verdanken die englischen hydraulischen Kalke gewiß großentheils ihren wohlgegründeten Ruf; sie enthalten in gleich hohen Schichten fast manchmal so viel bindendes Material, als diejenigen, welche kugelige Pulvertheile haben. Da die Cohäsion, die nur Adhäsion zwischen homogenen kleinsten Theilchen ist, als eine rein physikalische Anziehung nicht in einem einfach progressiven Verhältnisse wächst und abnimmt, sondern wenigstens im quadratischen (die Capillarattraction z. B. erhöht und vermindert sich nach einem noch viel größeren Verhältnisse, als das quadratische), so erklärt sich die viel größere Festigkeit des Portland-Cementes im Vergleiche mit unsern deutschen und andern hydraulischen Kalken wohl hinreichend aus der Form der Pulvertheile. Damit man übrigens die Wichtigkeit des chemischen Moments nicht übersehe, sondern gleichfalls würdige, so erlaube ich mir abermals in Erinnerung zu bringen, daß die gebrannten Mergel nur bei einer gewissen chemischen Zusammensetzung ihres thonigen Bestandtheiles die physikalische Eigenschaft besitzen können.

Diese Form der Pulvertheile spielt eine bedeutende Rolle in allen jenen Fällen, wo mit pulverförmigen Körpern chemische Prozesse vor sich gehen, und wenn deren Endresultat wieder ein fester Körper ist, so hängt die Cohärenz des neu gebildeten wesentlich von

der Form und Cohärenz des Pulvers ab. — Fuchs bespricht in seiner ersten Abhandlung über Kalk und Mörtel das Verhalten der reinen Kieselerde zu Kalkhydrat. Er fand, daß nur amorphe Kieselerde mit Kalk erhärtet — aber daß die ursprüngliche Compaktheit derselben von großem Einflusse ist. Er sagt: „Auf dieses Pulver (das feinste Pulver von Bergkrystall) wirkt der Kalk nicht im mindesten ein, während er sich mit jener (der aus Kieselkali ausgeschiedenen Kieselerde) zu einem sehr consistenten Produkte verbindet, welches mit Salzsäure eine ausgezeichnete Gallerte bildet. Auffallend verschieden von dem Quarz verhält sich der Opal. Er zieht zwar mit Kalk langsamer unter Wasser an, giebt aber zuletzt ein merklich consistenteres Produkt als die chemisch präparirte Ziegelerde." Hr. Hopfgartner hat auf meine Veranlassung hier mehrere Versuche der Art ausgeführt, welche die Erfahrung von Fuchs vollkommen bestätigten. Ein paar derselben mögen hier angeführt werden. Kieselerde aus einer sehr concentrirten Wasserglaslösung mit Salmiak gefällt — ausgewaschen und geglüht, — erhärtete mit der Hälfte Kalk unter Wasser zu einem vorzüglich hydraulischen Produkte. Kieselerde, eben so aus einer verdünnten Wasserglaslösung ausgeschieden, erhärtete zwar auch noch, aber das hydraulische Produkt war schon wirklich schlechter. Kieselerde, von der Bereitung der Kieselfluorwasserstoffsäure her, wo sie bekanntlich als ein Pulver erhalten wird, welches so leicht, ja noch leichter als **Magnesia alba** ist, erhärtete mit ihrem halben Gewicht Kalk unter Wasser gar nicht mehr. — Alle drei Proben gelatinirten übrigens mit Säuren, nachdem sie längere Zeit unter Wasser gelegen, selbst die, welche gar keinen Zusammenhang gewonnen hatte. Die Kalksilikatbildung war überall vor sich gegangen, aber die Adhäsion der kleinsten Theile unter sich, d. i. die Cohäsion des Ganzen war in dem Maße schwächer, als sie schon unter den Kieselerdemoleculen war. Die Adhäsion der kleinsten Theile unter sich ist ferner sehr wichtig für den Widerstand, den ein Körper chemischen Einflüssen zu leisten vermag. Fuchs hat mir mündlich einen sehr interessanten Beleg gerade für den hydraulischen Kalk mitgetheilt. Eine bereits unter Wasser erhärtete Probe, welche aus chemisch präparirter Kieselerde und Kalk dargestellt worden war, blieb später längere Zeit zur Hälfte mit der atmospärischen Luft in Berührung, während die andere Hälfte noch im Wasser lag. Die Kohlensäure der Luft zersetzte den gebildeten kieselsauren Kalk nach einem halben Jahre in der Art, daß kohlensaurer Kalk und Kieselerde entstand, und das Ganze mürbe wie schlechter Luftmörtel wurde. Fuchs schreibt auch (siehe dessen Mineralogie S.

209, Kempten 1842, im Verlag von T. Dannheimer) den Gehalt des Ichthyophthalm an kohlensaurem Kalke der nämlichen Zersetzung zu — und gewiß mit vollem Rechte. Proben, welche mit einer Kieselerde dargestellt waren, die mehr Cohärenz als die immerhin sehr lockere chemisch präparirte hatte, leisteten unter den nämlichen Umständen der Kohlensäure der Atmosphäre vollkommen Widerstand. — Welche wichtige und zahlreiche Consequenzen lassen sich für die Praxis hieraus ziehen!

Aus dieser ungleichen Cohärenz der kleinsten Theile erklärt sich auch die Beobachtung von Gay-Lussac, welche er beim Brennen des Gypses machte, daß nämlich ein Gyps, der schon im Steine cohärenter war, und einem eindringenden Körper mehr Widerstand leistete, auch nach dem Brennen und Pulvern mit Wasser angemacht besser cohärenter als ein aus minder cohärentem Steine dargestellter, bei fast ganz gleicher chemischer Zusammensetzung. Hätte man das Gewicht gleicher Volumina Pulver bestimmt, so würde man gefunden haben, daß im günstigeren Falle mehr, im andern weniger Gewichtstheile auf das gleiche Volum gekommen wären. Im ersteren Falle mußten sich die Theilchen mehr mit Flächen, im letzteren mehr an Punkten berühren. Die nothwendig größere Anzahl von Zwischenräumen im zweiten Falle bedingt natürlich auch eine geringere Festigkeit des Gypsgusses.

Das viel raschere Verderben der gewöhnlichen hydraulischen Kalkpulver im Vergleiche mit dem Portland-Cement durch Anziehung von Wasser und Kohlensäure aus der Luft, ist gleichfalls theilweise (wenn auch nur zum geringeren Theile) aus der Form der Pulvertheilchen zu erklären. Viel wichtiger hierbei ist der Umstand, daß im Portland-Cement der thonige Bestandtheil geschmolzen ist, und so gleichsam den Kalk mit einer Glasdecke schützt, während bei den gewöhnlichen hydraulischen Kalken dieses nicht der Fall ist, sondern der Kalk ganz frei daliegt. Deßhalb schmecken unsere gewöhnlichen hydraulischen Kalke so ätzend, während das Portland-Cement fast gar keinen Geschmack besitzt. Es hat mich deßhalb nicht im mindesten befremdet, als ich in gleichen Zeiten unter fast ganz gleichen Umständen durch Liegen an der Luft den baierischen hydraulischen Kalk um 4,47 Proc. an Gewicht zunehmen sah, während das Portland-Cement nur um 0,65 Proc. zugenommen hatte. Dieses rasche Verderben der gewöhnlichen hydraulischen Kalke an der Luft macht nothwendig, daß sie immer frisch verarbeitet werden müssen, und kann dieses nicht geschehen, so ist er eigentlich zu nichts mehr tauglich als zum Düngen von Feldern. Viele Tausende von Ctrn.

gehen alljährlich auf diese Weise zu Grunde. Man hat Allerlei versucht, solche hydraulische Kalke wieder brauchbar zu machen, aber es ist prinzipiell nicht mehr möglich. Was aus der Atmosphäre angezogen wird, ist Wasser und Kohlensäure, und zwar Wasser in überwiegender Menge, da ja die Luft viel mehr davon, als von der Kohlensäure enthält. Kalkhydrat und Kalkcarbonat werden sich bilden (Kalkhydrocarbonat mit überschüssigem Kalkhydrat). Das Kalkhydrat wird mit der aufgeschlossenen Kieselerde bereits theilweise eine Silikatbildung veranlassen, welche, wie ich mich überzeugt habe, jedenfalls und besonders beim Erhitzen in bedeutendem Maße vor sich geht. Auf diese Weise wird der späteren Silikatbildung unter Wasser schon sehr viel Material geraubt. Erneuetes Brennen liefert jedenfalls ein schlechtes Resultat. Einige wollen vom gelinden Erhitzen des verdorbenen hydraulischen Kalkes gute Erfolge gesehen haben. Derselbe wird in Kesseln, ähnlich wie der Gyps, gebrannt, bis alles Wasser wieder entwichen ist. (Das Kalkhydrat wird übrigens erst bei einer viel höheren Temperatur als der Gyps zersetzt; man bedarf deßhalb bedeutend viel Brennmaterial.) Die Kohlensäure bleibt nun als kohlensaurer Kalk bei überschüssigem Aetzkalke zurück und dieser kann als halbkohlensaurer Kalk (nach Fuchs) betrachtet werden, welcher, mit Wasser angemengt, sehr rasch bindet, indem sich das Bindemittel des Luftmörtels bildet, das Kalkhydrocarbonat. — Obwohl nun solcher wieder belebter Kalk rasch bindet, so wird er doch nicht den Anforderungen mehr genügen können, welche man an einen hydraulischen Kalk zu machen berechtigt ist.

Wie sehr die schieferige Form des Portland-Cementes die Wasserdichtigkeit desselben unterstützt, ersieht man aus der auffallenden, vom Londoner Stadt-Ingenieur Hrn. E. J. Anson unterm 21. Febr. 1845 bescheinigten Thatsache, daß Steine aus Portland-Cement nur 12 Proc. Wasser absorbirten, während beste, hart gebrannte Mauersteine 16 Proc. und Sandsteine 27 Proc. Wasser anzogen. Vom nämlichen Gesichtspunkte der Flächenberührung müssen die Vortheile gewürdigt werden, welche in jeder Art Mörtel die Beimischung eckiger Körper vor runden hat. Es ist eine jedem Maurer bekannte Thatsache, daß scharfer, eckiger Sand dem abgerundeten kugeligen bei weitem vorzuziehen ist. Sogar bei dem groben Spritzwurfe ist es vortheilhafter, wenn man die dazu verwendeten kleinen Rollsteine auf irgend eine Weise zertrümmert, damit statt der kugeligen, mehr ebene Oberflächen erzielt werden.

Zum Schlusse erlaube ich mir nochmals dringlich darauf hin-

zuweisen, daß man, um gute hydraulische Kalksteine auszuwählen, vorher vorzüglich die chemische Zusammensetzung des thonigen Bestandtheiles der Mergel berücksichtigen müsse, daß es nicht genügt, allein zu wissen, wie viel sich in verdünnten Säuren löst, und wie viel nicht. Ich bin der festen Ueberzeugung, daß wir bei rationeller Forschung auf der langen Mergelkelte vom Bodensee angefangen bis hinab nach Ungarn gewiß Mergel finden werden, welche sich zur Darstellung eines ebenso vorzüglichen Produktes, wie das Portland-Cement ist, eignen, wenn man ihnen vielleicht nur noch geringe Quantitäten Natron beizubringen weiß.

II. Einfluß der Bestandtheile auf einander.

Zu den im Obigen angeführten Analysen ist die Bemerkung hinzuzufügen, daß die hydraulischen Kalke, wie Kuhlmann besonders für den Londoner und Boulogner Cement im Einzelnen nachgewiesen, im Durchschnitt noch reicher an Alkali sind als die Luftkalke; ein Umstand, der von den Analytikern in ähnlicher Weise übersehen worden, wie das Brom, Lythion, Arsenik ꝛc. früher in den Mineral-Wassern. Man ersieht daraus des weiteren, daß sich die hydraulischen Kalksteine auf dem gewöhnlichen Wege der Zerlegung in zwei ganz verschiedenartige Gemengtheile scheiden lassen: in einen, ganz wie die Kalksteine zu fettem Luftkalk, aus kohlensauren Erden bestehenden, — und einen, der sich als Silikat, oder ein Gemenge von Silikaten, der Thonerde, des Kalkes, der Bittererde und sehr häufig des Kalis, mit mehr oder weniger überschüssiger Kieselerde verhält, eine Art Thon. In selteneren Fällen ist dieser Gemengtheil, welchen mehrere Schriftsteller schlechtweg „Kieselthon" nennen, beinahe reine Kieselerde. So ist der Kalkstein von Klingenhof bei Straßbessenbach im Spessart (eine Art milchweißer, sehr harter Dolomit aus dem Glimmerschiefer, welchen die Fayancefabrik in Damm bei Aschaffenburg verarbeitet) aus Kalk mit 19 Proc. Bittererde und 40 Proc. Kieselerde mit nur Spuren von Thonerde zusammengesetzt. Beim Brennen hydraulischer Kalksteine müssen natürlich beide Gemengtheile, wenn der Kalk einmal seine Kohlensäure abgegeben hat, gerade so auf einander wirken, wie eine starke Base auf ein Silikat, d. h. es wird eine Aufschließung erfolgen. Diese besteht darin, daß sich der Kalk zum Theil in die Zusammensetzung des Silikates einschiebt, eine lockerere Verbindung bildet als die ursprüngliche, die sich nunmehr ohne Schwierigkeiten in Säuren zersetzt. Es wird also durch das Brennen die Masse der Basen in dem thonigen Silikate vermehrt und den Säuren eine breitere Seite zum Angriff ge-

boten. In der That sieht man die gebrannten hydraulischen Kalke sich (mit wenigen Ausnahmen) in Säuren auflösen und – zum Beweis, daß ein von Säuren zersetzbares Silikat vorhanden gewesen — eine dicke Kieselgallerte bilden. Mit dieser Fähigkeit, eine Kieselgallerte zu bilden, ist dann auch die Fähigkeit, mit Wasser zu erhärten, eingetreten, und steht damit in nahem Zusammenhange.

III. Verlauf der Erhärtung.

Ungebrannte, gepulverte Steine erhärten bekanntlich nicht. — Man weiß allgemein, daß die hydraulischen Kalke nach dem Anmachen mit Wasser, Zusammenhang viel eher, als Härte gewinnen. Der angemachte hydraulische Kalk bildet zuerst eine zusammenhängende, aber sehr weiche, zerreibliche Masse, die sich leicht mit dem Nagel ritzen läßt; diese Masse nimmt erst viel später, wenn sie begossen oder unter Wasser getaucht wird, eine Härte an, die der des Kalksteins gleichkommt und oft noch viel größer ist. Im Allgemeinen ist die Zeit, welche verschiedene hydraulische Kalke zum Erhärten bedürfen, ungemein verschieden, und folglich auch die chemische Kraft, welche die Erhärtung bedingt, sehr ungleich. Eben so wenig ist der Härtegrad eine gleichbleibende Größe; sie kann bei langsamer härtenden Kalken so weit und weiter gehen, als bei rasch erhärtendem. Die zur Erhärtung erforderliche Zeit kann sich von wenigen Minuten bis auf Wochen und Monate ausdehnen und hängt mit dem Betrage des thonigen Bestandtheils zusammen. Je reicher die Kalke daran sind, um so rascher erhärten sie. In sofern nun die Festwerdung und Erhärtung hydraulischer Gesteine von einer chemischen Wechselwirkung ihrer beiden Gemengtheile abhängt, in sofern kann auch, wie bei jeder chemischen Thätigkeit, das Gewichtsverhältniß beider nicht gleichgültig sein, und gerade so wie die Gesteine dieser Gattung mit abnehmendem Gehalte an dem kieseligen Gemengtheile abwärts in die Luftkalke übergehen, so giebt es denn auch in aufsteigender Linie eine Grenze, jenseits welcher die Gesteine wegen Ueberwiegen ihres Bestandtheils, also weil es ihnen an kohlensaurem Kalke gebricht, nicht mehr hydraulisch wirken. Solche Mineralstoffe sind es aber, die man ganz eigentlich unter dem Ausdrucke „Cemente" *) zu verstehen hat, worunter also alle Zusätze begriffen sind, welche gewöhnlichen Luftkalk hydraulisch machen. Im Verlaufe der Erhärtung ist oft eine deutliche Temperaturerhöhung bemerklich; auch verwandelt sich dabei

*) Doch pflegt die technische Terminologie auch die an sich hydraulischen Kalke von sehr kräftiger Wirkung Cemente zu nennen, so der Cas-

in vielen Fällen das gebrauchte Wasser in eine Lauge, welche hinreichend ätzendes Alkali enthält, um das bekannte schlüpfrige Gefühl zwischen den Fingern zu erzeugen. So z. B. der Casseler hydraulische Kalk. Es muß das Alkali nothwendig schon in dem Steine enthalten sein, und ist nur in der oben aufgeführten Analyse übersehen worden. — Der französische Ingenieur Vicat *), der sich das Studium der hydraulischen Kalke förmlich zur Lebensaufgabe gemacht, hat dieselben, um sich und seine Leser besser zu orientiren, in Classen getheilt, welche in der nachstehenden Tabelle durch eben so viele, als Typen dienende Beispiele vorgestellt sind:

---

seler, Londoner Cement. Es ist übrigens schon an einem andern Orte auf die unfägliche Begriffsverwirrung hingedeutet worden, welche sich in Bezug auf den Kunstausdruck Cement in der technischen Sprache eingeschlichen hat. Man darf also hydraulische, wie die in Rede stehenden Stoffe, nicht mit dem verwechseln, was man in den Töpfereien, in den Stahlhütten und in der Metallurgie überhaupt Cement nennt.

*) Obgleich sich dieser Techniker in Frankreich einen bedeutenden Namen erworben und unter den Herolden seines Ruhmes die ersten Männer der Wissenschaft zählt, so erscheinen doch seine Leistungen keineswegs damit im Gleichgewichte. Wenn man auch anerkennen muß, daß ihm die Ausübung viele werthvolle Beobachtungen verdankt, so hat ihn doch seine unverantwortliche Unkenntniß fremdländischer Literatur zu vieles Ueberflüssige thun und veröffentlichen lassen; so wie sein Unvermögen, von der Oberfläche der Beobachtung auf den wahren wissenschaftlichen Boden niederzubringen, die Schuld ist, daß er in der unklaren Mitte zwischen Theorie und Empirie schweben blieb, und seine weitschweifigen Abhandlungen außer ihm nur Wenigen verständlich sein möchten. Es wird also in dem Folgenden nur Weniges seiner Arbeiten berührt werden können.

Enthält Kieselthon.	Vor dem Brennen (auf 100 kohlens. Kalk.)	Nach dem Brennen (auf 100 Aetzkalk.)
mittelmäßiger hydraulischer Kalk.	12	22
gewöhnlicher hydraulischer Kalk.	20	36
höchst hydraulischer Kalk.	25	44
Grenzkalk.	30	53
schlechter Grenzcement.	37	65
gewöhnlicher Cement.	56	100
bester Grenzcement.	156	273
Uebergang zur Puzzolane.	510	900

Diese Eintheilung ist natürlich durchaus willkürlich, indem in der Natur nur Uebergänge, keine Classen vorhanden sind, gewährt aber, wenn man ihre wahre Bedeutung berücksichtigt, einige Bequemlichkeit. Schon darum müssen aber zahlreiche Ausnahmen stattfinden, weil die Erhärtungsfähigkeit eines und desselben Kalkes nach der Temperatur des Brennens verschieden ist; so geben viele Kalke der dritten Classe, wenn sie unvollständig (d. h. nicht bis zur völligen Austreibung der Kohlensäure) gebrannt werden, einen hydraulischen Kalk der nächst besseren Sorte. Vicat hat für einzelne Fälle den Grad des unvollkommenen Brennens durch den Betrag der zurückgebliebenen Kohlen=

säure bestimmt und die so festgehaltenen Abstufungen auf ihre Erhärtungsfähigkeit geprüft. So gab ein gewisser Kalkstein, wenn seine Kohlensäure ausgetrieben

war, bis auf	30 Proc.	27 Proc.	26 Proc.	23 Proc.	20 Proc.	10 Proc.
einen Mörtel, welcher in	15 Minut	12 Min.	7 Min.	9 Tagen	30 Tag.	9 Tag.

erhärtete, woraus man sieht, daß im Verlaufe des Brennens und mit der Zunahme der Menge des Aetzkalkes nach und nach eine große Mannichfaltigkeit von Verhältnissen zwischen ihm und dem thonigen Bestandtheile entstehen, von denen eins, oder mehrere zugleich, vorzugsweise für die rasche Erhärtung geeignet sein können. Durch zu starkes Brennen, wenn eine anfangende Schmelzung eingetreten ist, werden die Kalke ungleich schwächer, als sie nach richtigem Brande sein sollten, und zuletzt ganz untauglich. Endlich muß erwähnt werden, daß hydraulische Kalke nie erhärten, wenn sie sogleich, ehe sie Zusammenhang gewonnen, in Wasser untergetaucht werden. In diesem Falle bleiben die Theilchen aus einander geschwemmt und locker.

Manche Kalke, besonders diejenigen, welche den Uebergang von den hydraulischen zu den Cementen bilden, haben die sehr üble Eigenschaft, daß einzelne Theile derselben noch nachträglich in's Löschen kommen, nachdem das Ganze bereits erstarrt oder etwas erhärtet ist. Der Mörtel zerbröckelt sich dadurch, blättert sich ab, zerfällt und wird mit einem Worte unbrauchbar. Es scheint, als ob in diesem Falle Kalktheilchen so eingehüllt seien, daß sie erst im Laufe des Erhärtungsprozesses bloßgelegt, oder durchdrungen werden und mit dem Wasser in Berührung kommen.

IV. Das Brennen.

Der Brand der hydraulischen Kalke ist wie der der Kalksteine überhaupt, nur erheischen sie einen viel geringeren Hitzgrad. In Cassel z. B. dienen dazu Oefen, ähnlich wie der Fig. 8 abgebildete, mit unterbrochenem Gange, nur von kleineren Dimensionen und seitlicher Feuerung mit Rost. Die gebrannten Steine werden unter Stampfen gepulvert, gesiebt und als feines Mehl angewendet. Bei solchen hydraulischen Kalken, die sich noch gut löschen, ist das Pulvern nicht absolut nothwendig. — Es ist dagegen ein großer Fehler, wenn der hydraulische Kalk, besonders im gepulverten Zustande, längere Zeit, z. B. auf dem Transport, in Magazinen ꝛc.

der Feuchtigkeit der Luft ausgesetzt ist; er verliert dadurch nach und nach seine beste Kraft und erhärtet sehr träge, oder gar nicht mehr. Auch bedarf es kaum der Erwähnung, daß hydraulischer Kalk in keinem größeren Vorrath angemacht werden darf, als man frisch weg verarbeiten kann. Was diesen Punkt betrifft, so hat Vicat gezeigt, daß ein guter hydraulischer Kalk, nachdem er bereits angezogen hat, nach wiederholtem Pulvern und Anmachen zwar aufs Neue anzieht, aber doch sehr langsam. Er verhält sich wie ein hydraulischer Kalk der geringsten Qualität.

V. Theorie der Erhärtung.

Im Vorhergehenden sind dem Leser die Eigenschaften der hydraulischen Kalke, so wie sie sich unmittelbar aus der Beobachtung ergeben, dargestellt worden; es bleibt somit noch übrig, die Erhärtung auf ihre theoretischen Ursachen — und in sofern die Erscheinung überwiegend chemischer Natur ist — auf ihren Zusammenhang mit den chemischen Gesetzen zurückzuführen. Außer dem, was Berthier, Kuhlmann und Vicat darin geleistet, verdankt man die eigentliche Aufklärung der Frage den trefflichen Untersuchungen von Fuchs in München.

Die Betrachtungen und Schlüsse des Letzteren — um das Allgemeine voranzuschicken — laufen darauf hinaus, daß der Aetzkalk und die Kieselerde die im hydraulischen Kalk enthaltenen Stoffe sind, durch deren chemische Thätigkeit die Erhärtung erfolgt. Dieses Endziel wird durch zwei Operationen erreicht: Beim Brennen tritt die Aetzendwerdung des Kalkes durch Entkohlensäuerung ein, während zugleich der entstandene Aetzkalk auf den vorhandenen Kieselthon aufschließend wirkt, d. h. ihn in eine, durch Säuren leicht zersetzbare Verbindung verwandelt. Beide, der übrige Aetzkalk sowie der aufgeschlossene Kieselthon wirken nun beim Anmachen des gemahlenen und gebrannten Kalkes so auf einander, daß ein steinartiges Silikat auf nassem Wege entsteht. Die Thätigkeit des Wassers ist hierbei offenbar eine doppelte. Zwei trockene Stoffe, wie Kalk und das Thonsilikat, wirken für sich sehr schlecht und nach Umständen gar nicht auf einander, ohne daß eine vermehrte Berührung des einen mit dem andern durch die auflösende Kraft des Wassers vermittelt wird. Während des Erhärtens wird aber das Wasser den aufgelösten Kalk unaufhörlich an die kieseligen Theile abgeben, wieder neuen Kalk aufnehmen, diesen ebenfalls der Silikatbildung zuführen u. s. f. Daraus erhellt auch, warum das Naßhalten des hydraulischen Mörtels nach dem Mauern eine so strenge Bedingung ist. Die andere Rolle des Wassers besteht

darin, daß es selbst von dem entstehenden Silikate, als Hydratwasser gebunden wird. Man darf sich aber darum nicht einbilden, als ob die Erhärtung (so etwa beim Gyps) nur eine Anziehung von Hydratwasser von Seiten eines im Brennen erzeugten Silikates sei. Wenn dem so wäre, so müßten viele Silikate, die chemisch ganz ähnlich beschaffen sind, z. B. viele Zeolithe, nachdem sie durch gelindes Glühen ihres Hydratwassers beraubt sind, unter Wasser ebenfalls erhärten, was ganz gegen die Erfahrung ist. Es ist also im Gegentheil die Erhärtung ihrem wahren Wesen nach nicht sowohl ein Hydratwerden eines schon gebildeten Silikates, sondern vielmehr die Bildung eines gewässerten (hydralisirten) Silikates, in einem einzigen Vorgang.

VI. Einfluß der Kieselerde und des Thones.

Ein Umstand von der höchsten Wichtigkeit ist hierbei der Molecularzustand der Kieselerde. Bekanntlich unterscheidet die Chemie zwei in ihren Eigenschaften abweichende Zustände von Kieselerde. In dem dichten krystallinischen Zustande als Quarz, Bergkrystall z. B. ist sie der chemischen Verbindung auf nassem Wege nur in sehr beschränktem Maße zugänglich. Zu diesem Zwecke wird sie aber eben durch Aufschließen (z. B. mit Kalk) geeignet gemacht und dadurch in die amorphe, leicht sich verbindende Kieselerde übergeführt, welche u. a. den Opal bildet. Der natürliche Opal giebt schon für sich, im natürlichen Zustande, mit Kalk ein leidliches Cement; eben so die chemisch niedergeschlagene Kieselerde. Dagegen ist, wie beim Luftkalk erwähnt worden, dieselbe Einwirkung des Kalkes auf den Quarz (=sand) nur unbedeutend, wird jedoch sehr mächtig, wenn man den Quarz vorher durch Glühen mit $\frac{1}{3}$ Kalk aufschließt. Chemisch gefällte Kieselerde oder Kieselgallerte entzieht dem Kalkwasser mit Leichtigkeit den Kalk, keineswegs so der gestoßene Quarz.

Einfluß des Thones. — Die Stelle der Kieselerde können, wie es denn bei der überwiegenden Mehrzahl der hydraulischen Kalke der Fall ist, verschiedene kieselsaure Salze, oder Silikate vertreten. Dahin gehören die Thone als die wichtigsten.

Bei der großen Verschiedenheit der Thone kann unmöglich ein gleiches Verhalten derselben vorausgesetzt werden, allein sie liefern fast alle eine gute, einige eine sehr gut erhärtende Masse mit Kalk. Alle, besonders der Töpferthon, müssen vorher gebrannt werden. Wie aus dem Abschnitt über die Thonwaaren bekannt, so werden jene schon durch's bloße Brennen für sich in Säuren löslicher (theilweise

aufgeschlossen). Bei einigen ist es aber nöthig, sie mit Kalk zu brennen. Der gemeine eisenschüssige Ziegelthon bindet, gelinde gebrannt kaum, oder nicht mit Kalk; wird er heftig bis zu anfangender Schmelzhitze geglüht, so schließt das Eisenoxyd den Thon auf und es tritt dann eine kräftige Erhärtung mit dem Kalk ein.

Unter den Kieselerde-Verbindungen, welche außerdem Bestandtheile, oder Eigenschaften mit den im Kalke vorkommenden gemein haben, sind noch folgende von bemerkenswerthem Verhalten.

VII. Einfluß des Eisens, der Thonerde an sich und der Bittererde.

Lievrit (ein Mineral, welches aus kieselsaurem Kalk und Eisen besteht) zeigt sich beinahe ganz unwirksam, obgleich es 52 Proc. Eisenoxydul enthält; folglich kann dem Eisen keine andere als höchstens eine indirecte Wirkung wie im Ziegelthon zukommen. Dies beweisen auch die Schlacken; denn Schlacken mit hohem Eisengehalt und weniger Kieselerde (Frischschlacken) taugen nicht, während solche mit wenig Eisen und viel Kieselerde (Hohofenschlacken) sehr gut zum Erhärten und mit Kalk taugen.

Der Prehnit (eine Verbindung von kieselsaurer Thonerde mit kieselsaurem Kalk und Hydratwasser) ist für sich fast wirkungslos; er zeigt aber die kräftigste Wirkung, wenn er vorher gebrannt wird. Das Brennen macht ihn unter Gallertbildung in Wasser unauflöslich.

Noch widersteht der Feldspath dem Kalk beinahe gänzlich; geschmolzen viel weniger, am wenigsten mit etwas Kalk aufgeschlossen, wo er mit noch mehr Kalk eine erhärtende Masse bildet. Ganz ähnlich verhält sich Glas.

Die zeolithischen Mineralien, welche neben kieselsaurer Thonerde, kieselsaures Alkali, oder kieselsauren Kalk, oder beides enthalten, wie der Analcim ($2NaO, 3SiO_3, 3Al_2O_3SiO_3, + 6aq$), der Natrolith ($NaO, SiO_3 + Al_2O_3, SiO_3 + 2aq$), der Stilbit ($CaO, SiO_3 + Al_2O_3, 3SiO_3, + 6aq$) lösen sich im natürlichen Zustande alle in Säuren unter Gallertbildung auf und geben mit Kalk schon ungebrannt gute hydraulische Massen, besser noch, wenn sie gebrannt werden. — Daß weder in diesen Mineralien, noch in dem Thone die bloße Thonerde das Wirksame ist, beweist der Cyanit, der 54 Proc. Thonerde an Kieselerde gebunden enthält und weder roh, noch geglüht von Säuren angegriffen wird, durch seine Widerspenstigkeit gegen den Kalk.

Dagegen ist zwar die Kieselerde der Silikate der wesentlich wirksame Stoff, aber nicht in jedem Verhältniß geschickt. Der Pechstein, welcher $\frac{3}{4}$, der Bimsstein, der eben so viel, und der

Obsidian der $\frac{4}{5}$ seines Gewichtes Kieselerde enthält, sind kaum so wirksam wie Opal. Umgekehrt zeigen die an Bittererde reichen Silikate, wie der Speckstein ($6\,MgO, 5\,SiO_3 + 4\,aq$), der Tremolith ($3\,MgO, CaO, 3\,SiO_3$) und der Diopsit ($3\,MgO, 2\,SiO_3$), auch der Talk nicht die geringste Neigung, sich unter Wasser mit dem Kalke zu verbinden; theils weil schon ein Uebermaß von Basen in der Verbindung vorhanden und theils weil die Verwandtschaft der Bittererde zur Kieselsäure die des Kalkes überwiegt. — Aus demselben Grunde wird umgekehrt die Neigung, unter Wasser zu binden, sehr stark vermehrt, wenn man einer kieseligen Verbindung einen bittererdehaltigen Kalk darbietet. Die dolomitartigen Kalke und Dolomite geben mit passenden Zusätzen einen viel besseren Wassermörtel, als die reinen Kalke; um so mehr, weil die Kieselerde mehr Neigung hat, ein Silikat mit 2 Basen zugleich, als mit einer einzigen zu bilden. Ein sehr schlagender Beweis von der Wirksamkeit der Magnesia in den dolomitischen Kalken liefert der Kalkstein von Tarnowitz (No. 3 der Tabelle), welcher ganz gut erhärtet, obgleich sein Kieselerdegehalt nur 3,3 Procent beträgt. Er enthält aber 29 Proc. Bittererde. Die beiden Basen, um die es sich hier handelt — der Kalk und die Bittererde — sind nach Fuchs auch für sich ohne Gegenwart an Kieselerde fähig, sich unter Erhärtung unter Wasser zu verbinden. Auch Dumas fand, daß ein künstliches Gemenge von 3,68 Bittererde und 44 gebranntem Kalk (also nahe gleiche Aequivalente, was 50 Kalk entsprechen würde) gelöscht und zu Brei angemacht, unter Wasser nach etwa 9 Tagen einen bemerklichen Härtegrad annimmt.

Alle bisher niedergelegten Erfahrungen beweisen, daß die Kieselerde dem Kalk und der Bittererde gegenüber das wesentliche Agens ist, daß aber ihre Wirksamkeit ganz und gar von ihrem Cohäsionszustand und — wenn ein Silikat angewendet wird — auch von dem Grade abhängt, bis zu welchem sie von Basen gesättigt ist. Die Grenze der Sättigung ist durch den Wollastonit ($3\,CaO\,2\,SiO_3$) angedeutet, der 48 Kalk auf 52 Kieselerde enthält und weder gebrannt, noch ungebrannt die geringste Wirkung hat.

Was die Rolle anbelangt, welche die Thonerde beim Erhärten spielt, so ist diese nur eine befördernde und vermittelnde, denn es erfolgt auch Erhärtung in Fällen, wo gar keine Thonerde zugegen ist. Auf der anderen Seite fand Berthier, daß Gemenge von Kreide mit $\frac{1}{5}$ (als wasserfrei berechnet) Thonerde sich löschen, aber selbst nach Monaten nicht erhärten. Die so häufige Gegenwart der

Thonerde in den hydraulischen Kalken giebt also nur Gelegenheit zur Bildung von thonerdehaltigen Doppel-Silikaten mit Kalk (nebst Bittererde, Eisen, Alkali ꝛc.), welche die Kieselerde einzugehen eine stark ausgesprochene Neigung hat, wie denn unter anderen schon das häufige Vorkommen natürlicher Silikate dieser Classe beweist.

VIII. Einfluß der Alkalien.

Auch die Alkalien vermitteln die Silikatbildung auf nassem Wege, obgleich in ganz anderer Weise. Wenn ein hydraulischer Kalk, oder ein ähnliches Gemenge Alkalien enthält, so werden diese im Laufe der Erhärtung der Masse zu einem sehr großen Theil, oder ganz ausgeschieden und finden sich im Wasser gelöst, welches dadurch alkalisch wird. Fuchs fand, daß aus aufgeschlossenem Feldspath durch Aetzkalk auf nassem Wege 10 Proc., d. h. alles Kali; er fand, daß selbst aus dem kalkarmen Bims- und Pechstein ein Theil und aus dem Lithionglimmer Lithion und Kali zugleich abgeschieden werden. Eben so aus den meisten Thonen. Bei der Löslichkeit der Thonerde und der aufgeschlossenen Kieselerde in Kali ist kaum daran zu zweifeln, daß die Alkalien die hydraulische Wirkung der Kalke dadurch beschleunigen, daß sie den allmählichen Uebertritt der Kieselerde an Kalk befördern und erleichtern. Man weiß wenigstens aus einer Untersuchung von Kuhlmann, daß die Auflösungen von kieselsaurem Alkali (von Kieselfeuchtigkeit, Wasserglas) schon in der Kälte ihre Kieselerde an Kalk abgeben. Es geschieht dies eben so gut an kohlensauren Kalk und Gyps als an Aetzkalk, wobei der Kalk, seine (Kohlen-, Schwefel-) Säure an das Alkali abtretend, dessen Kieselerde aufnimmt. Kreidepulver einige Zeit mit einer Auflösung von Kalisilikat zusammengebracht, bildet eine Masse, die nachher steinartig erhärtet. Ganze Stücke von Kreide eingetaucht, überziehen sich oberflächlich mit Kalksilikat, welche Bildung um so tiefer eindringt, je länger die Einwirkung gedauert hat. An der Luft erhärten solche Oberflächen, ohne ihre Gestalt weiter zu ändern, so stark, daß sie politurfähig werden. Auf diese Beobachtungen hin hat Kuhlmann die löslichen Alkalisilikate allgemein als ein Verkieselungsmittel vorgeschlagen, womit man Mauern, verputzte Wände ꝛc. oberflächlich durch Erzeugung der Kalksilikate härten soll. Eine andere Beobachtung von Kuhlmann, daß schwache hydraulische Kalke (z. B. der von Tournai) durch Calciniren mit 8 bis 10 Prozent Pottasche in hohem Grade kräftiger werden, ist bei dem Preise der letzteren mehr für die Theorie, als für die Praxis interessant. — Schließlich darf nicht übergangen werden, daß die Versteinerung des hydraulischen Kalkes durch Tem-

peraturerhöhung, sowie unter kräftigem Druck bedeutend befördert wird.

Die Ansichten, die man früher wohl über die Erhärtung hydraulischer Kalke gehabt hat, so Guyton Morveau's, welcher dem Manganoxyd die Hauptrolle zuschrieb, zerfallen in sich selbst.

IX. Künstliche hydraulische Kalke.

Ein Blick auf die obige aus Beobachtungen gefolgerte Theorie zeigt, daß künstliche Gemische von einem passenden Silikat mit Kalk bei gleicher Behandlung so gut hydraulische Eigenschaften zeigen müssen, als natürliche. Die Erfahrung ist in der That diesem Schluß um Jahrhunderte vorausgeeilt. — Bei ganz alten Baudenkmälern beruht die Festigkeit der Bauten zuweilen allein auf dem Gewicht und der Gestalt der Steine. So bei den Baudenkmälern einer vorgeschichtlichen Nation, welche wegen ihrer Massenhaftigkeit gewöhnlich „Cyclopische" genannt werden, so bei Aegyptischen Tempeln und selbst noch bei der berühmten unter Tarquinius Superbus erbauten Cloaca maxima, einem Ableitungstunnel zur Reinhaltung der Stadt Rom. Der einzige Mörtel in den Ruinen von Babylon ist Erdpech. Die Römer waren aber mit der Handhabung des Kalkmörtels sowohl für Hoch= als Straßenbau vollkommen vertraut und machten alsbald die wichtige Entdeckung, daß eine gewisse halbweiche, poröse, fast erdige, Bimsstein führende und diesem in der Zusammensetzung ähnliche Felsmasse, welche an der Küste des Meerbusens von Bajä und Neapel, besonders bei Puteoli, vorkommt und von ihnen Pulvis puteolanus genannt wurde, die schätzbare Eigenschaft besitzt, mit gebranntem Kalk hydraulisch zu erhärten. Das Pulvis puteolanus schon von Vitruv und Plinius beschrieben, wurde zu Wasserbauten mit der Hälfte Kalk angemacht und ist derselbe Stoff, der noch heut zu Tage unter dem Namen Puzzolane so berühmt ist. Die Stadt Puteoli hat bekanntlich heut zu Tage den Namen Puzzuoli.

Der Traß.

In Deutschland eingebrochen und an den Rhein vorgedrungen, erkannten die Römer alsbald in den Traßlagern bei Bonn das heimische Pulvis puteolanus wieder und eröffneten die dortigen Brüche, die noch bis heute jenes wichtige Material auf weit und breit hinliefern. Beide, Puzzolane wie Traß, sind nichts als ein vom Wasser angeschwemmtes Conglomerat aus Trümmern vulkanischer Gesteine, häufig Geschiebe von Basalt, Bimsstein, Trachyt, Thonschiefer einschließend. Daher der Zusammenhang der Puzzolane mit dem Vesuv, des Trasses mit den Vulkanen der Eifel. Der Traß im

Brohlthal ist aus den Bestandtheilen der trachytischen Gesteine der Umgebung hervorgegangen und bildet sehr mächtige, Thäler ausfüllende Bänke eines mürben zerreiblichen Gesteins, dessen Farbe im Allgemeinen hell, bald mehr in's Gelbe, bald in's Graue zieht. Es wird in zahlreichen Stampfmühlen in der Nähe des Fundortes gemahlen und als feines Pulver versendet. Wie die meisten Ausbruchgesteine, wie Basalt, Klingstein rc., läßt sich auch der Traß chemisch in zwei verschiedene Silikate zerlegen. Das eine ist in Salzsäure ohne weiteres aufschließbar, das andere nicht. Elsner erhielt bei der Zerlegung, unter Berücksichtigung dieses Umstandes, folgendes Resultat:

In Salzsäure aufschließbar:		
Kieselerde	11,50	
Eisenoxyd mit Spuren von Mangan	11,77	
Thonerde	17,70	
Kalkerde	3,16	
Bittererde	2,15	
Kali	0,29	
Natron	2,44	
		49,01
In Salzsäure nicht aufschließbar:		
Kieselerde	37,44	
Eisenoxyd	0,57	
Thonerde	1,25	
Kalkerde	2,25	
Bittererde	0,27	
Kali	0,08	
Natron	1,12	
		42,98
Wasser mit Spuren von Ammoniak	7,65	
		99,64

Während der erstere Gemengtheil des Traß im Wesentlichen ein Thonerde- und Eisen-Silikat, so ist der letztere beinahe reine Kieselerde, so daß in beiden alle Bedingungen eines hydraulischen Stoffes enthalten sind: Kieselerde (im Ganzen 49 Proc.), um den zugefügten Aetzkalk zu binden, 31 Proc. Thonerde und Eisenoxyd, endlich fast 4 Proc. Alkali, um sie in der oben bezeichneten Weise zu unterstützen und die Kieselerde-Verbindung aller dieser Basen in einem Zustande der Aufgeschlossenheit, in welchen andere Silikate, wie Thon rc., erst durch Glühen mit Kalk versetzt werden. — Wie

sich bei einer solchen aus Trümmern ungleich gemengten Masse erwarten läßt, sind die Ergebnisse verschiedener Analytiker nicht gleich. Man fand bis 57 Proc. Kieselerde, bis zu 28 Proc. Thonerde, und 8 Proc. Alkali.

Die Puzzolane. — Die italienische Puzzolane fand Berthier aus 44,5 Proc. Kieselerde, 15,0 Thonerde, 8,8 Kalk, 4,7 Bittererde, 12,0 Eisen- und Titanoxyd, 1,4 Kali, 4,1 Natron und 9,2 Wasser, also dem rheinischen Traß ganz analog zusammengesetzt.

Eine Art Puzzolane von nicht vulkanischem Ursprung ist ganz neuerlich von Sauvage im Dep. der Ardennen entdeckt worden. Sie bedeckt daselbst die Thone des Gault, einer versteinerungsführenden Ablagerung am Grunde der Kreideformation. Sie ist von blaßgrauer, grünlicher Farbe, sehr weich und nach Sauvage von folgender Zusammensetzung:

lösliche Kieselerde (gallertartige)	56
Thon	7
feiner Quarzsand	17
feiner grauer Kalk (Chlorit)	12
Wasser	8
	100

Merkwürdig ist die sehr bedeutende Menge löslicher Kieselerde, welche eine gute hydraulische Wirkung erwarten ließ, wie sie denn auch bereits von Vicat bestätigt ist.

Thon als Cement.

Alle diese Zusätze, welche fetten gelöschten Kalk hydraulisch machen, werden, wie oben bemerkt, „Cemente" genannt. Puzzolane, Traß und alle ähnlichen Cemente gewähren den Vortheil, daß sie nicht erst durch Glühen, Brennen ꝛc. vorbereitet zu werden brauchen, sondern im natürlichen Zustande (versteht sich fein gepulvert, damit sie gehörig gemengt werden können) ihre Wirkung äußern. Viele Thone kommen in ihrer Zusammensetzung den vulkanischen Cementen sehr nahe. Um aber eine gleiche Wirkung zu zeigen wie diese, müßten die Bestandtheile der Thone auch in gleichem Zustande sein, was keineswegs der Fall ist. Es müssen darum alle Thone, sofern sie zu Cementen dienen sollen, vorher durch Brennen aufgeschlossen werden, je nach der besonderen Beschaffenheit, mit oder ohne Zusatz von Kalk. Alsdann liefern sie aber sehr kräftige Cemente, wobei es indessen sehr bedeutend auf die Art des Brennens und die Temperatur ankommt. Treussart verfertigte aus einem zur Alaunfabrikation in Straßburg dienenden Thon, der aus

50 Kieselerde, 32,7 Thonerde, 1,6 Bittererde und nur Spuren von Eisenoxyd bestand, Ziegel, von denen er einen Theil in dem Alaunofen, einen anderen in einem Kalkofen brannte. Als der gebrannte Thon mit der Hälfte gelöschten Kalkes zu Mörtel angemacht worden, fand sich eine große Verschiedenheit: der aus dem Alaunofen erhärtete nach 2 bis 3 Tagen damit und ertrug ein Gewicht von 400 Pfund, ohne zerknirscht zu werden, während der aus dem Kalkofen erst nach 30 Tagen erhärtete und unter gleichen Umständen bei 50 bis 60 Pfund brach. — Eine ähnliche Vergleichung zweier Mörtel, aus ebenfalls 1 Th. gelöschtem Kalk und 2 Th. Cement, welcher das eine Mal aus Thon für sich, das andere Mal aus mit 2 Proc. Kalk aufgeschlossenem Thon bestand, zeigte diesen Einfluß zu Gunsten des letzteren Mörtels, der in 17 Tagen erhärtete, während der andere 30 bedurfte.

Mehrere öffentliche Gebäude in Frankreich, u. a. der Canal St. Martin, sind mit einem künstlichen hydraulischen Kalk aus de St. Leger's Fabrik gebaut, welcher ein Thoncement enthält. Dieser hydraulische Kalk wird aus 4 Theilen Kreide von Meudon und 1 Th. Thon von Passy (dem Volum nach) gerade so gemengt, wie man die Massen zur Fayance ꝛc. zur mischen pflegt. Die beiden Stoffe kommen zuerst mit Wasser unter eine Mühle mit stehenden Steinen, wo sie bis zu einer dünnen Schlempe zermahlen werden, die man zum Absetzen in gemauerte Sümpfe abläßt. Nachdem das obenstehende Wasser abgezogen, und der Schlamm zu einiger Consistenz eingetrocknet ist, formt man Ziegel daraus, welche nach dem Trocknen in Kalköfen, aber gelind gebrannt werden. Berthier fand in der ungebrannten Mischung: kohlensauren Kalk 84 Proc., Kieselerde 10, Thonerde 5 und Eisenoxyd 1 Proc. Wie man sieht, ist hier aller nöthiger Kalk von vorn herein in der Masse, ein Theil dient zum Aufschließen des Thones und der Rest bildet mit dem entstandenen Cement die erhärtende Masse, welche für den Gebrauch mit Wasser gelöscht werden muß. Sie gedeiht dabei um 0,65 ihres Volums, wenn sie richtig gebrannt war.

Andere Stoffe als Cement.

Nach einem anderen späteren Patent von Briaut und St. Leger ist das Cement nicht Thon, sondern ein Kalksilikat. Nach der bekannt gewordenen Vorschrift sollen 4 Th. Kreide (oder reiner Kalkstein überhaupt) mit 1 Th. calcinirtem und zum feinsten Pulver gemahlenen Kiesel (Quarz, Feuerstein ꝛc.) versetzt und das Gemenge wie oben gebrannt werden. Da die Gegenwart der Thonerde nach allen Erfahrungen vortheilhaft und Thon überall leichter

zu haben ist und weniger mechanische Arbeit erfordert, als die kieseligen Mineralien, so ist ein besonderer Vorzug dieses Verfahrens nicht einzusehen und die Nachahmung nicht eben zu empfehlen.

Wenn man jedoch eisenfreien Kalk, Kreide z. B., genommen hat, so entsteht eine nach dem Erhärten ungefärbte, weiße Masse, was allerdings zuweilen eine wichtige Rücksicht sein kann.

Anstatt des Thones verwendet man auch wohl Abfälle von ähnlicher Beschaffenheit und Wirkung als Cemente, wo sie gelegentlich zu haben sind. Dahin gehören ganz besonders die Rückstände vom Auslaugen der Alaunschiefer und die Asche von Steinkohlen, Braunkohlen und Torf. In den Alaunerzen durchdringen ein thoniger und ein kohlenartiger (bituminöser) Bestandtheil einander so, daß nach dem Rösten und Auslaugen, wobei Thonerde entzogen wird, der thonartige Bestandtheil nicht bloß ziemlich aufgeschlossen, sondern auch reicher an Kieselerde, als vorher, und folglich in einem Zustande zurückbleibt, in welchem er für die Bindung des Kalkes unter Wasser sehr geeignet sein muß.

Die Asche der fossilen Brennstoffe enthalten reichlich Kieselerde, Thonerde, auch Eisenoxyd nebst Bittererde und zuweilen Alkalien. Da die Asche hochrothglühend durch den Rost fällt, so muß sie sehr bemerklich aufgeschlossen sein und es kann nicht auffallen, daß sie als Cement ohne weiteres mit dem Kalk erhärtet. Nach Anthon ist das beste Verhältniß, auf einen Theil zu Pulver gelöschten Kalk, die gleiche bis doppelte Menge Steinkohlenasche *) anzuwenden. Indessen möchte das rechte Verhältniß, bei der sehr veränderlichen Beschaffenheit verschiedener Aschen, für jeden Ort besonders zu ermitteln sein. Die Erhärtung eines Mörtels aus Kohlenasche und Kalk rührt übrigens zum Theil auch vom Gyps her, wovon einige Braunkohlen $\frac{3}{4}$ ihres Gewichtes enthalten.

Der unter dem Namen „cendrée" sehr geschätzte Wassermörtel von Tournay wird aus den Abfällen gemacht, welche dort beim Brennen des Liaskalkes erhalten werden. Diese Abfälle, welche nach dem Ziehen des Stückkalkes zurückbleiben, bestehen aus kleinen Kalkstückchen und der Asche, woran die dort verwendete Kohle sehr reich ist, ungefähr im Verhältniß von 1 : 3. Das Gemenge wird mit wenig Wasser gelöscht und vor dem Anwenden tüchtig geschlagen und durcheinander gearbeitet.

Cement bei den Mainzer Festungsbauten als Auftrag auf die Casemattengewölbe, wie auch zum Schutz von Holz gegen das

---

*) Hierunter ist wirkliche Asche, nicht die sogenannten Cinders, ein Gemenge von wenig Asche und viel unverbrannten Koakabfällen zu verstehen.

Durchbringen von Feuchtigkeit benutzt, sehr bewährt gefunden worden. Er besteht aus 65 Theilen Kreide, 34 Theilen Colophonium, und 1 Theil Terpenthinöl. Das Colophonium wird geschmolzen, die Kreide und das Terpenthinöl unter beständigem Rühren dazu gemischt und hierauf die Masse auf Blechtafeln ausgegossen, worauf sie schnell erhärtet. Bei der Anwendung dieses Cements im Bauwesen werden 60 Pfd. davon in einem Kessel geschmolzen und 120 Pfd. reiner trockener Sand nebst 5 Maß Steinkohlentheer darunter gerührt. Die Masse wird mit Mauerkellen aufgetragen und in beliebiger Dicke breit gestrichen; sie ist bindend und wird fast so hart wie Stein, ohne jedoch leicht brüchig zu sein.

Es ist bekannt, daß Hohofenschlacken, in fein gepulvertem Zustande, als Kieselcemente dem gebrannten Kalk hinzugesetzt, einen sehr guten hydraulischen Mörtel liefern. Da diese Eigenschaft der Hohofenschlacken einzig und allein nur in der bestimmter chemischer Zusammensetzung ihren Grund haben kann, so schien es mir in technisch-chemischer Beziehung von Wichtigkeit, gerade solche Hohofenschlacken, von denen es mit Sicherheit bekannt ist, daß sie als Zuschläge einen guten hydraulischen Mörtel liefern, einer chemischen Analyse zu unterwerfen, um auf die gewonnenen Resultate ein Verfahren zu begründen, mittelst dessen es leicht sein könnte, ohne eine besondere chemische Analyse, eine Hohofenschlacke zu untersuchen, ob dieselbe sich zu Kieselcement eignen möge oder nicht.

Hr. Inspector Eck, zu Gleiwitz, hatte die Gefälligkeit Dr. L. Elsner zur Analyse solche Hohofenschlacken zustellen zu lassen, von denen die Erfahrung bewiesen hatte, daß sie als Kieselcemente einen guten hydraulischen Mörtel liefern. Mit diesen Hohofenschlacken wurden in dem Laboratorium des königl. Gewerbe-Instituts, unter Dr. Elsners Aufsicht, von den Zöglingen Grashof und Jacobi mehrere Analysen angestellt, deren Resultat hier mitgetheilt wird, ohne jedoch den speciellen Gang der Untersuchung anzuführen, da dieselbe nach bekannten Methoden unternommen wurde.

Die untersuchten Schlacken waren sehr gleichförmig geflossen, zeigten Glashärte und hatten eine grünliche Färbung, welche bei Behandlung der fein gepulverten Schlacke mit heißer Essigsäure unter Entwickelung von Schwefelwasserstoffgas verschwand, wobei in der essigsauren Lösung ein geringer Gehalt an Eisen durch Reagentien nachgewiesen wurde. Die mit der Säure behandelte gepulverte Schlacke blieb als ein weißes Pulver zurück. Die grüne Färbung der Schlacken scheint daher ihren Grund in einem gerin-

gen Gehalt an Schwefeleisen zu haben, ähnlich wie dieß bei den blauen und grünen Ultramarinen der Fall ist, wie Dr. L. Elsner zu zeigen versucht hat. Durch die qualitative Untersuchung wurde auch ein sehr geringer Gehalt an Titan nachgewiesen; ein Umstand, welcher nicht befremden kann, da bekanntlich bei dem Hohofenbetrieb in Oberschlesien bisweilen Eisenhauen vorkommen, welche mit den rohen Würfeln von metallischem Titan erfüllt sind. — Wird die fein gepulverte Schlacke mit wenig Salzsäure übergossen, so erstarrt sie bald zu einer zusammenhängenden durchscheinenden, gallertartigen Masse.

1. Analyse von Jacobi.

Kieselerde	40,12
Thonerde	15,37
Kalkerde	36,02
Manganoxydul	5,80
Eisenoxydul	1,25
Kali	2,25
Schwefel	0,70

2. Analyse von Grashof.

Kieselerde	40,44
Thonerde	15,38
Kalkerde	33,10
Manganoxydul	4,40
Eisenoxydul	1,63
Kali	2,07
Schwefel	0,76

Die Kalkbestimmung in No. 1 nähert sich der Wahrheit am meisten, denn sie ist die Mittelzahl mehrerer Analysen.

Wird die Schlacke in der Hauptsache, als ein Kalk-Thonerde-Silikat betrachtet, so berechtigt das Verhältniß des Sauerstoffgehalts der einzelnen Bestandtheile die Schlacke nahe genug, als eine chemische Verbindung von drittelkieselsaurem Kalk mit drittelkieselsaurer Thonerde zu betrachten. Das Sauerstoffverhältniß zwischen Kieselerde, Thonerde und Kalk ist nämlich wie 21,0 : 7,1 : 10,0 = 6 : 2 : 3 = 18 : 6 : 9, woraus sich die Formel: $(3\dot{C}a_3\dddot{S}i + 2\dddot{A}C\dddot{S}i + \dddot{S}i$, oder $2(\dot{C}a_3\dddot{S}i + \dddot{A}C\dddot{S}i) + \dot{C}a_3\dddot{S}i_2$ entwickeln läßt. In jedem Fall ist die drittelkieselsaure Doppelverbindung der vorwaltende Bestandtheil.

Auch zeigte die qualitative Analyse, daß die Schlacke sich völlig durch Salzsäure aufschließen ließ, sie enthielt demnach die Kieselerde gerade in einem solchen Aggregatzustande, welcher dieselbe

vorzugsweise geeignet macht, mit gebranntem Kalk in Wechselwirkung gebracht, einen guten hydraulischen Mörtel zu liefern.

Die Zusammensetzung der untersuchten Schlacken hat eine bemerkenswerthe Aehnlichkeit mit derjenigen des Prehnit, und der sogenannten zeolithartigen Fossilien, welche alle als Thon-Silikate mit Kalk- oder Alkali-Silikaten + Wasser im Allgemeinen zu bezeichnen sind. Von diesen Fossilien ist aber auch bekannt, daß sie, nach dem Brennen dem gebrannten Kalk im gepulverten Zustand beigemischt, ganz vorzügliche hydraulische Mörtel liefern; auch sie hinterlassen, bei der Behandlung mit Salzsäure, schon ohne alle künstliche Erwärmungen, die Kieselerde in einem mehr oder weniger gallertartigem Zustande.

Aus diesen Thatsachen und Erfahrungen folgt nun, daß es sehr leicht sein wird, eine Hohofenschlacke in technischer Hinsicht zu prüfen, ob dieselbe als brauchbares Kieselcement für die Bildung von hydraulischem Mörtel geeignet sein möchte oder nicht; man hat nur nöthig, dieselbe im fein gepulverten Zustande in einem Glase mit wenig reiner Salzsäure zu übergießen; erstarrt die Flüssigkeit in kurzer Zeit zu einer durchsichtigen gallertartigen Masse, so ist die untersuchte Schlacke vorzugsweise geeignet, bei Anfertigung von hydraulischem Mörtel als Kieselcement zu dienen.

Aehnlich wie die Hohofenschlacken verhielten sich auch einige Rohkupferschlacken aus dem Mannsfelder Reviere, welche gegen 48 Proc. durch Salzsäure aufschließbare Kieselerde enthielten, woraus folgt, daß auch diese Art Schlacken unter den angeführten Bedingungen als brauchbare Kieselcemente für die Darstellung von hydraulischem Mörtel zu bezeichnen sind.

Der zu Joachimsthal in der Mark bereitete hydraulische Kalk. — Im Wasser erhärtet derselbe in kurzer Zeit zu solcher Festigkeit, daß die Fugen im Mauerwerk gar nicht wieder zu trennen sind, und widersteht in solchem Zustande auch dem Frost in vollem Maße, denn es sind an den hiesigen Wasserbauwerken im Finowcanal nur selten, auch wenn noch spät im Herbst oder im Winter gemauert worden war, Spuren einer Verwitterung der Fugen wahrgenommen worden.

Der hydraulische Kalk wird hier bereitet aus 3 Theilen kohlensaurem Mergelkalk, 2 Theilen hiesiger ungeschlämmter, jedoch gut durchwitterter Thonerde und einer geringen Quantität fein pulverisirtem Eisenocker, wie er zu den Färbungen der Formsteine angewendet wird, etwa dem 30. Theil der beiden vorigen Massen.

Der Mergel findet sich im Wiesengrunde am Werbellin-See

im erdfeuchten Zustand und hinreichender Menge. Er wird dort im Herbst gegraben und in etwa 2 Fuß hohen Haufen den Einwirkungen der Witterung den Winter hindurch überlassen. In gut durchwittertem Zustande ist er im Wasser leicht löslich, was auch zu seiner Vereinigung mit dem Thon und dem Eisenocker höchst nöthig ist.

Die drei genannten Substanzen werden mit Wasser eingesumpft und, wenn sie gehörig aufgeweicht sind, zweimal durch den Thonschneider getrieben, damit sie unter sich eine vollständige Verbindung eingehen, was bei einem guten Cement durchaus erforderlich ist. Die so zubereitete Masse wird nun in gewöhnlichen Mauersteinformen auf einem offenen Streichplatz theils in Trockengerüsten, theils auf der flachen Erde geformt, die geformten Mergelsteine werden ausgetrocknet, in eben der Art, wie die Ziegelsteine, in den Brennofen eingebracht und scharf gebrannt. Nach dem Brand werden dieselben in den hier vor Wasserkraft angelegten Stampfwerken gestampft, und dieses gestampfte Gut auf dem ebenfalls vor Wasserkraft angelegten Mühlwerke zwischen zwei liegenden Granitsteinen von 4 Fuß Durchmesser zu einem ganz feinen Pulver zermahlen, welches in Säcken oder Tonnen aufgefangen und zum Verbrauch versendet wird.

Beim Gebrauch wird dieses Kalkpulver in nicht zu großen Portionen bloß mit Wasser zu einem steifen Brei angerichtet und muß dann rasch verarbeitet werden, weil es in den Kalkbehältern sehr bald ersteift und in solchem Zustand umständlich zu verarbeiten ist, bei nochmaligem Auffrischen mit Wasser aber auch etwas von seiner Bindungskraft verlieren würde.

Zusatz von Sand oder Ziegelmehl verträgt dieses Kalkpulver nicht; es würde dadurch an Bindungskraft verlieren. Das angegebene Mischungsverhältniß ist schon so eingerichtet, daß der Kalk nicht zu fett und daher auch ohne Zusatz zu verwenden ist. Nur wenn man ihn zum Putz anwenden will, ist es angemessen, etwas Sand zuzusetzen, wenn er nicht, was allerdings besser, zu diesem Zweck schon vor dem Brand etwas mager gehalten ist. Eben so wenig darf man das Mischungsverhältniß ändern und etwas mehr Mergel hinzusetzen, um den Mergel fetter zu machen und sein Volumen durch nachherigen Zusatz oder dergleichen zu vermehren.

Die richtig zusammengesetzten rohen Substanzen werden nämlich im Feuer chemisch mit einander verbunden, so daß die Mischung durch bloß mechanisches Beimengen von rohen Material

zu dem gebrannten Gute niemals so vollständig erreicht werden kann.

Bereitung des Ziegelmehls. — Mittelst der beiden auf der Hauptziegelei vorhandenen, durch Wasserkraft in Bewegung setzenden Stampfwerke wird das Ziegelmehl aus dem aus den Bränden häufig erfolgenden Bruch übercompleter und schadhafter Formsteine und auch aus eigens dazu bereiteten Charmottensteinen aus hiesiger Thonerde gestampft und fein gesiebt, und in solchem Zustande dann sowohl zum Versatz des Thons zu den Klinker- und Formsteinen, als auch zu Mörtel zu den Hintermauerungen der Schleußwände verwendet.

Mit wie viel Ziegelmehl die Ziegelmasse versetzt wird, ist schon vorher bemerkt worden. Der aus Ziegelmehl bereitete Mörtel besteht aus 1 Theil gelöschtem gewöhnlichen Kalk und aus 2 Theilen Ziegelmehl. Beides wird in einer Kalkbank gut durch einander gearbeitet, wie der gewöhnliche Mörtel aus Sand und Kalk bestehend, und ist dann zum Vermauern fertig.

Bei Ausführung der Wasserbauwerke am Finowcanal wird zwar der Ziegelmehlmörtel gewöhnlich aus 1 Theil Kalk und 3 Theilen Ziegelmehl bereitet; das vorher angegebene Mischungsverhältniß dürfte aber besser und vorzuziehen sein, den Mörtel etwas fetter zu nehmen, weil das Ziegelmehl dem Kalk sehr schnell alle Feuchtigkeit entzieht.

Römischer Cement.

Endlich verdienen unter den cementähnlichen Zusätzen noch die gepulverten Schlacken aus Kupfer- und Eisenhütten Erwähnung, welche Silikate aus Eisenoxydul, Kalk und Thonerde sind.

Es ist in der Geschichte des Wassermörtels, die wie bemerkt in der Anwendung der Puzzolane und des Traß bei den Römern ihren Ausgangspunkt hat, sehr bemerkenswerth, daß man, je mehr sich die Kenntniß von der Natur desselben erweiterte, um so mehr hydraulische Kalksteine auffand und für den künstlichen Mörtel Cemente zu finden wußte; so daß, was anfangs das Eigenthum weniger begünstigter Orte zu sein schien, nunmehr fast überall zu haben ist. Einen bedeutenden Anstoß zum Studium der Natur und des Vorkommens der hydraulischen Kalke hat der **roman Cement** oder römische Cement gegeben, worauf P a r k e r und W y a t t im Jahre 1796 in London ein Patent erhielten. Das Material dazu sind die unter dem Namen S e p t a r i a im Thon des London-Beckens vorkommenden, mehrere Zoll dicken Rollstücke von gedrückt-kugeliger Gestalt. Sie befinden sich nicht nur an den Themsee-

ufern, sondern auch auf der Insel Sheppey, Wight, so wie an den Küsten von Kent, Yorkshire, Sommersetshire. Die Analyse derselben ist bereits unter No. 2 angegeben. Man brennt sie in ununterbrochen gehenden Kalköfen mit Steinkohlen, unter einer höchst vorsichtigen Leitung des stets mäßigen Feuers. Nach dem Brennen werden die Steine unter schweren stehenden Mühlsteinen zu einem feinen Pulver gemahlen und gesiebt, welches als fertiger Cement in dichten Fässern versendet wird und einen wichtigen Handelsartikel ausmacht.

Im Jahre X der Republik hat Lesage das Vorkommen ähnlicher Cementsteine auf der gegenüberliegenden französischen Küste bei Boulogne dargethan und nachmals Drapier die Gleichheit derselben mit dem englischen durch die Analyse bewiesen.

Der „römische Cement" gehört zu den kräftigsten hydraulischen Kalken und ist dadurch so schätzbar, daß er nicht nur in wenigen Minuten erhärtet, sondern auch beim Erhärten selbst in dickeren Massen keine Risse zieht.

Später hat man denn ähnliche Kalkmergel an zahlreichen Orten gefunden und ausgebeutet, wo man sich nur die Mühe gegeben hat, zu suchen. So, um ein Beispiel anzuführen, hat Kittel in Aschaffenburg die Kalke des Spessart durchforscht und allein in der Nähe dieses Ortes an 4 verschiedenen Punkten einen brauchbaren, an 2 Punkten einen vorzüglichen Mergel erhalten. Man hat sogar zuweilen hydraulische Werke in einem und demselben Bruche mit fettem Kalk gefunden und ohne ihre Natur zu kennen, wegen ihrer Thätigkeit beim Löschen als unbrauchbar ausgehalten.

Alle künstlichen oder natürlichen hydraulischen Kalke lösen sich (nach und vor dem Erhärten) unter Abscheidung von Kieselerde in Salzsäure auf, es sei denn, daß Sand oder Ähnliches zugesetzt worden.

Praktische Bemerkungen.

Einige praktische Bemerkungen mögen diesen Abschnitt beschließen. Alle hydraulischen Kalksteine, wenn sie nicht so kalkreich sind, daß sie sich noch löschen lassen, müssen sehr fein gepulvert werden; nur bei ganz feiner Zertheilung der Stoffe ist eine gehörige Einwirkung zu erwarten. Ohnehin findet nie eine völlige Durchdringung des kieseligen Theiles von Seiten des Kalkes statt; sondern ein Theil bleibt umschlossen und eingehüllt.

Ein Punkt, gegen den sehr häufig gefehlt wird, ist das Einhalten des richtigen Verhältnisses zwischen gelöschtem Kalk und Cement, wo man künstlichen hydraulischen Mörtel verwendet. Die

beiden Ingredienzien müssen durchaus nach Maß oder Gewicht, nicht nach bloßem Augenmaß gemacht werden. Am besten beginnt man damit, das nöthige Cementpulver anzufeuchten und dann den frischgelöschten Kalk unterzuarbeiten. Je gleichförmiger und inniger Beide gemengt werden, um so besser wird der Erfolg sein. Der hydraulische Mörtel zu dem berühmten Leuchtthurme von Edbystone, ist von Smeaton aus gleichen Maßtheilen zu Pulver gelöschtem Kalk und Puzzolane zusammengemischt worden. Gewöhnlich pflegt man den Traß und die Puzzolane dem Gewichte nach mit der Hälfte Kalk zu beschicken, wie die Römer bereits gethan. Jedenfalls möchte es gerathen sein, wofern man über die Beschaffenheit des einen oder anderen Bestandtheils nicht sichere Erfahrungen hat, das beste Verhältniß durch einige Proben zu ermitteln.

Guter hydraulischer Mörtel, gleichviel ob aus natürlichem Kalkstein gemacht, oder aus Cement und Kalk zusammengesetzt, zieht auch ohne Sandzusatz keine Risse, wenn er unter Wasser erhärtet. Er bildet alsdann eine sehr dichte und feste Masse, welche nach einiger Zeit weder Wasser durchläßt, noch vom Wasser angegriffen wird und eine bedeutende Härte erlangt. Darum ist es gerathener, an denjenigen Theilen von Mauern, die stets vom Wasser bedeckt bleiben, den hydraulischen Mörtel ohne allen Zusatz anzuwenden. Wenn aber nicht bloß Erhärtung, sondern auch gehörige Bindung erfolgen soll, so darf man eine höchst wesentliche Vorsicht nicht außer Augen setzen, nämlich das Anfeuchten der Steinflächen, auf welche der Mörtel aufgetragen werden soll. Im entgegengesetzten Falle wirkt die Steinfläche (durch Aufsaugung der Feuchtigkeit) austrocknend auf die Oberfläche des Mörtels, es kann in Folge davon keine rechte Adhäsion stattfinden und die Fuge muß mehr oder weniger offen bleiben.

Daraus, daß der hydraulische Mörtel das einzige dauerhafte Material unter Wasser ist, darf man nicht schließen, daß derselbe bei trockenen Mauern keiner Anwendung fähig wäre. Er ist im Gegentheil auch für diese Fälle von ausgezeichnetem Nutzen, wenn es sich um Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit handelt, und sehr oft können feuchte Wohnungen und sonstige Räume durch passendes Anbringen eines hydraulischen Ueberzuges verbessert werden, weil dieser — einmal erhärtet — weit entfernt ist, die Feuchtigkeit so anzusaugen und durchzulassen, wie der poröse Luftmörtel. Es versteht sich übrigens von selbst, daß man den hydraulischen Kalk, so oft er an trockenen Mauern angebracht wird, sei es

als Verputz, oder sonst wie, durchaus so oft und so lange begießen und anfeuchten muß, bis er seine gehörige Härte erreicht hat. Wird diese Bedingung vernachlässigt, so kann man nicht erwarten, etwas Anderes, als einen weichen, zerreiblichen unnützen Ueberzug zu erhalten. Wenn Feuchtigkeit zwischen der Wand und dem Verputz z. B. von unten eindringt, so wird sie wegen seiner Undurchdringlichkeit dort festgehalten und der Verputz bei darauf folgendem Frost unfehlbar abgeblättert. Ferner ist in Acht zu nehmen, daß der hydraulische Mörtel für sich an der Luft nach der Hand eintrocknet, schwindet und folglich unganz und rissig wird. Es ist also nothwendig, Sand oder ein ähnliches Material zuzusetzen, welches die Schwindung aufhebt. Der hydraulische Mörtel verträgt unbeschadet seiner Härte eine ziemlich bedeutende Menge Sand, das Anderthalbfache seines Gewichtes und mehr. Ein solcher Zusatz gewährt also zugleich eine namhafte Ersparniß. Das Korn des Sandes ist hierbei so wenig wie bei dem Luftmörtel gleichgültig: scharfes eckiges Korn ist dem stumpfen, abgerollten, entschieden vorzuziehen; auch nimmt man besser halbgroben, halbfeinen Sand, als Sand von einerlei Korn. Ferner soll der Sand möglichst frei von erdigen und staubartigen Theilen sein. Bei aus Kalk und Cement zusammengesetzten Mörteln ist die Regel, daß man so viel an Sand abbrechen muß, als man Cement zugesetzt hat, weil der gelöschte Kalk in Summa nur eine bestimmte Quantität solcher Stoffe bindet, die nicht überschritten werden kann und der Cement selber sich zum großen Theile unthätig, d. h. als Sand verhält.

Bei einem hinreichend rasch erhärtenden hydraulischen Mörtel kann man bei einem geeigneten Zusatze von Sand ziemlich massive Gegenstände gießen, ohne daß diese nach dem Trocknen Risse bekommen. Dadurch ist eine Anwendung des hydraulischen Mörtels zu architectonischen, dem Sandstein ähnlichen Verzierungen möglich, die mit einer großen Schärfe der Form, einer bedeutenden Dauer und größerer Leichtigkeit im Vergleich mit Sandsteinfiguren, den großen Vortheil einer leichten Vervielfältigung verbinden. Es werden solche Ornamente in der Koch'schen Fabrik in Cassel aus dem dortigen Cement mit Sand vermischt angefertigt.

Eine ähnliche Anwendung ist das Gießen von Wasserleitungen und zwar gleich an Ort und Stelle in den Grund, wie sie von Gasparin vorgeschlagen worden. Die Form ist ein leinener Schlauch, wie an den Feuerspritzen, von einigen Metern lang, der mit Wasser angefüllt und an beiden Enden geschlossen wird.

Es entsteht eine Wurst, welche man mit Sand übersiebt, auf eine von hydraulischem Kalk gegossene Unterlage legt, und dann auch von oben mit hydraulischem Mörtel übergießt. Nachdem das Ganze erstarrt ist, zieht man den Schlauch bis auf einen Fuß hervor, gießt eine neue Strecke u. s. f. Wasserleitungen der Art setzen aber ein gleichmäßiges Gefälle voraus, weil sonst der Sand unmöglich hinausgespült werden kann, ohne die Leitung zu verstopfen.

Wenn man den hydraulischen Kalk mit kleineren Steinen oder Flußkies mengt, so kann man auch Mauern unmittelbar gießen und erhält eine Masse, die dem aus Luftmörtel bereiteten béton der Franzosen entspricht. Zu Toulon wird für den Hafenbau eine Masse aus 3 Th. Kalk, 4 Th. Puzzolane, 1 Th. Hammerschlag, 2 Th. Sand und 4 Th. Steingerölle (Gruß) angewendet.

Die bedeutende Festigkeit der Mauern aus hydraulischem Mörtel geht am deutlichsten aus den Versuchen hervor, die man über das Zerbrechen gemauerter Balken angestellt hat. Ein 25 F. langer, $2\frac{1}{2}$ F. breiter Balken, aus 19 Lagen mit römischem Cement verbundener Ziegel bestehend, zwischen welche hier und da gleichlaufende Schienen von Raufeisen eingelegt waren, vermochte, an beiden Enden aufliegend, ein in der Mitte aufgehängtes Gewicht von 22 Tonnen (480 Ctr.) zu tragen, bis er anfing zu brechen.

Schließlich muß noch einer kürzlich von Fuchs und Schlotthauer der Münchener Akademie der Künste vorgelegten Erfindung gedacht werden, welche eine neue Methode der Frescomalerei zum Gegenstande hat. Während in der antiken pompejanischen sowohl, als in der modernen Frescomalerei die Befestigung der Farben auf einer Erhärtung von Aetzkalk in der Luft beruht, so wird nach der neuen Methode die gefärbte Fläche in ein Kalksilikat verwandelt. Beide ältere Methoden verhalten sich also nur zu neuen, wie Luftmörtel zu hydraulischem. Während Frescogemälde der ersten Art nicht viel Dauer besitzen (es sei denn, daß sie, wie die pompejanische, ihre Rettung einer langen Verborgenheit und Abgeschlossenheit von Luft und Licht verdanken), und die Kunst die Zerstörung der ersten Meisterwerke zu beklagen hat; so sollen die der neueren Art nicht nur dem Wasser, schwachen Säuren und Alkalien, sondern auch dem Witterungswechsel und der Strenge deutscher Winter widerstehen, ohne ihre Farbenfrische zu verlieren und so fest mit der Unterlage verbunden sein, daß sie weder von selbst abblättern, noch überhaupt mechanisch davon getrennt werden können. Das Nähere des Verfahrens ist zur Zeit nicht bekannt;

es scheint sich übrigens um eine Verkieselung einer Kalkmasse vermittelst einer Auflösung eines Alkalisilikates zu handeln, wovon oben die Rede gewesen.

Zweiter Abschnitt.

Vom Gyps.

I. Eigenschaften des Gypses.

Das was man in den Gewerben Gyps nennt, ist die Verbindung des schwefelsauren Kalkes mit Wasser; sie enthält 79,07 schwefelsauren Kalk auf 20,93 Wasser, auf 1 Aequiv. des ersteren auf 2 Aequiv. Wasser ($CaO, SO_3 + 2H_2O$). Die beiden Aequiv. Wasser sind auf verschiedene Weise in dem Gyps gebunden und spielen eine sehr verschiedene Rolle. Während nämlich das eine Aequivalent gewöhnliches Krystallwasser ist, so ist das andere Aequivalent ein salinisches Wasser, d. h. als Wasser vorhanden, welches durch Salze vertreten werden kann. Dieser Umstand enthält den Schlüssel zu manchen Eigenthümlichkeiten im Verhalten des Gypses.

Der Gyps ist ein dem Urgebirge ganz fremdes Mineral, wird dagegen in allen spätern Bildungen, bei denen das Wasser Antheil hat, und zwar von den jüngern Gliedern des Uebergangsgebirges an, bis herauf zu den Süßwasser-Ablagerungen der tertiären Formationen in Busen und Becken gefunden. Im Uebergangsgebirge wird der Gyps nur in so beschränktem Maße angetroffen, daß dasselbe als technischer Fundort gänzlich wegfällt. Dagegen sind die Glieder der secundären Formation und vorzugsweise des Lias, der bunte Mergel, der Keuper und der Muschelkalk ergiebige Lagerstätten. Noch umfassender sind die Gypsmassen des tertiären Gebirges. Sie unterscheiden sich von dem vorhergehenden, abgesehen von dem Alter, besonders durch das Auftreten von organischen Resten, Thierknochen, Muschelschalen rc. und einem Gehalt an kohlensaurem Kalk, so allgemein durch eine geringere Reinheit. Das Becken von Paris ist das schönste Beispiel dieser Gattung.

Der Gyps löst sich in beiläufig 400 Th. Wasser, eine Lös-

lichkeit, welche durch Temperaturerhöhung nicht vermehrt wird. Es ist wahrscheinlich, daß der Gyps späterer Bildungen sich nach und nach aus Wasser niedergeschlagen hat, während in anderen Fällen derselbe aus dem Zusammentreffen von schwefelsauren Dämpfen (z. B. aus verwitterten Schwefelkiesen) mit kohlensaurem Kalk entstanden sein mag. Der Gyps bildet nicht leicht zusammenhängende Lager von großer Erstreckung und Ausdehnung wie viele Thone und Kalke, sondern befindet sich bemerkenswerther Weise als unregelmäßige stockförmige Lager oder liegende Stöcke, nicht selten das Nebengestein durchbrechend und in dasselbe eindringend.

Bei aller Verschiedenheit des mineralischen Characters, in welchem der Gyps vorkommt, macht sich doch stets dessen überwiegende Neigung zur Krystallinität geltend. Reine Gypskrystalle befinden sich häufig und in bedeutender Entwickelung, oft als blätterige schwalbenschwanzförmige Zwillingskrystalle (Gypsspath). Oft haben solche Krystalle eine so bedeutende Ausdehnung, daß sich Blätter von mehreren Quadratfuß davon ablösen lassen, welche das bekannte Marienglas oder Fraueneis sind und wie Fensterscheiben gebraucht werden. Einer von den gewöhnlichen Zwillingskrystallen des Gypses ist in Fig. 13 abgebildet. Als geologische Masse unterscheidet man körnigen Gyps, eine compacte Masse aus Krystallkörnern. Der bekannte, zu Bildhauerarbeit dienende Alabaster ist eine weiße durchscheinende Art davon, die sich bei ihrer großen Weichheit leicht mit dem Messer schneiden und abdrehen läßt. Der körnige Gyps geht auf der einen Seite in den dichten Gyps über, worin das krystallinische Korn von dem unbewaffneten Auge nicht mehr wahrgenommen wird, und auf der anderen Seite, aber nur untergeordnet, in den faserigen Gyps, der Spaltausfüllungen bildet. Der unreine kohlensaure Kalk und thonenthaltende Gyps, wie der Pariser, ist meist körnig, in's Dichte übergehend.

Reiner schwefelsaurer Kalk ohne Wasser, sogenannter Anhydrit, kommt häufig in der Natur und zwar fast immer mit dem Gyps vor. So z. B. findet sich Anhydrit bei Oldendorf als Kern in einer Masse von wasserhaltigem Gyps ringsum eingeschlossen. Er ist übrigens von keiner technischen Bedeutung.

Die Anwendung des Gypses ist theils die zu Bildhauerarbeiten, als Alabaster; theils beruht sie auf seinem bloßen chemischen Bestande, so in verschiedenen Fabriken als Zersetzungsmittel und als Dünger in der Landwirthschaft; theils endlich auf seiner Brauch=

barkeit zu Abgüssen und mörtelartigen Massen. Für den ersten Fall ist zu bemerken, daß Alabasterarbeiten bei der schon merklichen Löslichkeit des Gypses unbedingt vor Feuchtigkeit zu schützen sind. Von den beiden andern Anwendungen wird später noch die Rede sein; was jedoch die letzte betrifft, so ist es zum richtigen Verständniß der Technik des Gypses unumgänglich, sich mit seinem Verhalten gegen das Wasser vertraut zu machen.

Im luftleeren Raume über Schwefelsäure auf 100° C. erwärmt, verliert der Gyps die Hälfte seines Wassers, das Krystallwasser nämlich, und es bleibt $CaO, SO_3 + H_2O$. Bei weiterer Temperaturerhöhung fängt auch das salinische Wasser an wegzugehen, und entweicht vollständig noch unter 150° C. Etwas anders verhalten sich die Dinge in freier Luft; der Gyps verliert nämlich an der Luft, bei 100° C. fast nichts von seinem Wasser, allein das Entweichen desselben beginnt schon bei einer geringen Erwärmung über 100°, ist aber nicht vollendet, ehe man 133° C. erreicht hat. Gyps, aus dem man das Wasser bei dieser Temperatur entfernt, zieht, wenn er aufs neue mit Wasser zusammengebracht wird, dasselbe mit großer Kraft wieder an, indem er in die ursprüngliche Verbindung $CaO, 2H_2O$ wieder zurückkehrt. Diese Bindung von Wasser findet schon nach wenigen Minuten statt und zwar, wenn man das passende Verhältniß nicht überschritten hat, unter merklicher Wärmeentwickelung. Wenn der Gyps vor oder nach dem Entwässern gepulvert war, so erstarrt das Pulver, mit Wasser zusammengerührt, rasch zu einer porösen, erdigen Masse, welche die Form des Gefäßes annimmt, worin sie sich befindet. — Auf diesem Umstande beruht nun aber die Anwendung des Gypses zum Bildgießen und zu Mörtel. Es ist aber ausdrücklich zu bemerken, daß der Gyps auf eine Temperatur erhitzt, die zwischen 133° (wo er alles Wasser verloren hat) und seinem Schmelzpunkte liegt, seine Fähigkeit, Wasser anzuziehen und zu erhärten, auf immer verliert. Es verhält sich alsdann, wie der natürliche wasserfreie Gyps oder Anhydrit, welchem die Erhärtungsfähigkeit eben so wenig zukommt, als der oben erwähnten Verbindung CaO, SO_3, H_2O oder krystallwasserfreiem Gyps. Es ist wahrscheinlich, daß die Abweichung im Verhalten des gut gebrannten Gypses und des Anhydrits in einer Molecular-Verschiedenheit liegt.

II. Das Brennen des Gypses.

Die Entwässerung, oder das Brennen des Gypses und das Anmachen mit Wasser sind also zwei Hauptpunkte, welche zuerst erörtert werden müssen.

1. Das Brennen des Stuccatur-Gypses.

Die ganz feinen und reinen Sorten Gyps zu Gyps- und Stuccaturarbeiten pflegt man zum großen Theil ungebrannt, als feines Pulver, in den Handel zu bringen. Gute Künstler ziehen es vor, als den sichersten Weg, das Brennen, worauf sehr viel ankommt, selbst zu besorgen, um so mehr, da die Sache wegen der niedern, dazu erforderlichen Temperatur ungemein erleichtert ist. Es genügt nämlich, das Gypspulver in einem reinen Metallkessel über einem sehr mäßigen Feuer zu erhitzen. Nach einiger Zeit sieht man eine Bewegung eintreten; die Masse im Kessel, von dem allenthalben sich entwickelnden Wasserdampf gleichsam in der Schwebe gehalten, stellt sich in's Niveau wie eine Flüssigkeit. Es bilden sich bald zahlreiche Krater, durch die der Wasserdampf entweicht, die auf's Neue einbrechen, wenn sie durch das Umrühren verschüttet werden u. s. f. Aus diesen Bewegungen und der Art, wie eine darüber gehaltene kalte Glas- oder Metallplatte beschlägt, kann man den Verlauf des Entwässerns sehr scharf beurtheilen und ist dadurch in den Stand gesetzt, den richtigen Augenblick zu erfassen, wo der Gyps die wahre Reife hat. Im Allgemeinen ist das rasche Erhärten des Gypses zu Kunstgüssen eine hervorragende Bedingung. Künstler haben nun die Erfahrung gemacht, daß völlig entwässerter Gyps nicht so rasch gesteht, als Gyps, den man nur so lange gebrannt hat, als das Aufwallen dauert. In diesem Falle enthält der Gyps noch ungefähr $\frac{1}{4}$ von seinem Wasser. Die Ursache, welche dieser Erfahrung zu Grunde liegt, ist bis jetzt nicht ausgemittelt worden, um so weniger erklärbar, als halbentwässerter Gyps ($CaO, SO_3 + H_2O$) mit Wasser durchaus nicht erhärtet.

Statt eines Kessels, oder einer Pfanne, kann überhaupt eine heiße Metallplatte benutzt werden; man muß nur gehörig umrühren, damit die Wärme recht gleichmäßig wirkt, wenn man anders jener sicheren Leitung des Brennens gewiß sein will. Dieses ist nicht mehr in dem Grade der Fall bei dem Brennen des Gypses im Backofen, wie es ebenfalls sehr gebräuchlich ist. Zu dem Ende ist es besser, den Gyps nicht vorher zu pulvern, sondern die auserlesenen reinen Steine in nuß- und eigroße Stücke zu zerschlagen, die man auf die Sohle eines geheizten Brodbackofens bringt. Bekanntlich haben diese Oefen von gewöhnlicher Einrichtung keine besondere Feuerung, sondern nur einen Arbeitsraum, auf dessen Sohle man eine gewisse Menge Reisig verbrennt. Das Backen geht alsdann lediglich mittelst der Wärme vor sich, die in der erhitzten

Backsteinmasse der Wände aufgespeichert ist. Zum Gypsbrennen gehört ungefähr dieselbe Temperatur, wie zum Brodbacken, d. h. eine Temperatur, bei der man eben noch die Hand einige Secunden hineinhalten kann. So wie die Ofensohle vom Feuer gereinigt und die Beschickung eingetragen ist, verschließt man das Mundloch. Nach einiger Zeit werden einzelne Stücke als Probe herausgezogen. Wenn diese auf dem weißen erdigen Bruche nur noch wenig glänzende, krystallinische, also nicht entwässerte Theile zeigen, so ist die rechte Beschaffenheit eingetreten und die Beschickung muß herausgenommen werden, um gemahlen und gesiebt zu werden. Da der gebrannte Gyps viel mürber und zerreiblicher ist, als der frische, so gewährt diese Verfahrungsweise darin allerdings einen Vortheil.

Wo man mehr im Großen *) verfährt, also wie in Paris z. B. ein reiches Gypslager für einen bedeutenden Markt ausbeutet, bedient man sich eigener Gypsöfen zum Brennen. Alle dortigen Oefen sind — abgesehen von einer viel mangelhafteren Leitung der Temperatur — noch mit einem Uebelstande behaftet, der den beiden ersten Fällen ganz fremd ist. Er besteht nämlich darin, daß der eingesetzte Gyps mit dem Brennstoffe, oder doch mit der Flamme desselben in unmittelbare Berührung kommt. — Bekanntlich entzieht Kohle (auch Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoff ꝛc.) dem Gypse in der Glühhitze seinen Sauerstoff ($CaO,SO_3+4C=OaS+4CO$), so daß Schwefelcalcium zurückbleibt, welches an der Luft, beim Anmachen, den Geruch nach Schwefelwasserstoff entwickelt. Die gewöhnlichste Einrichtung, Fig. 14, ist ein Mittelding zwischen Meiler und Ofen. Das Ganze bildet ein Viereck von 10 Fuß in's Gevierte und 9 Fuß Höhe, welches oben mit dem Gewölbe a bedeckt, von beiden Seiten mit den Mauern **b b** und von hinten mit der Mauer c (woran die Esse d) eingeschlossen ist. Die vordere Seite dagegen ist, wegen des Beschickens und der Besorgung des Feuers, gänzlich offen. Außer den genannten Umfangsmauern ist nichts weiter vorgesehen und die Feuerungen im Innern werden jedesmal mittelst der Beschickung selber gebildet. Die Brenner wählen nämlich die dickeren Gypsblöcke zuerst aus, und setzen damit die gewölbten Kanäle xxx in der Richtung von vorn nach der Esse zu auf. Ueber die Kanäle, welche die Feue-

---

*) In Paris scheiden die Arbeiter in den Brüchen den gewonnenen Gyps in drei Sorten: die geringste, körnige formlose Massen bildend, enthält beiläufig 12 Proc. kohlensauren Kalk und dient zu Mörtel und zum Düngen; die zweite ist der reine, krystallinische Gyps, blätterig, durchsichtig, gelblich, oder farblos, findet sich in Drusen oder Nestern von mehr oder weniger Umfang, dient zu Bildabgüssen, die dritte Sorte endlich ist ein Alabaster.

rungen vorstellen, wird zuerst der Rest der größeren Blöcke, dann die mittleren Stücke, auf diese die kleinen Stücke und obenauf der Schutt und die Abfälle aufgeschüttet, worauf man in xxx ein Holzfeuer anzündet. Die Flamme entweicht durch die Zwischenräume und gelangt durch die Maueröffnungen y y in die Esse.

Wenn man statt Holz Steinkohle ꝛc. braucht, so kann man zwar dieselbe Aufschichtung der Steine beibehalten, aber es muß alsdann für die Entfernung der Asche gesorgt werden. So in den Fig. 15 und 16, wo unter den Gewölben x die durchbrochenen, aus Backsteinen aufgemauerten Gewölbe z liegen. Auf diesem Gewölbe liegen die Steinkohlen e e, während die Asche durch die Zwischenräume hinabfällt. Ein besonderer Kamin ist hier nicht vorhanden.

Nach 12 bis 16 Stunden, wo die untern Gypsblöcke bereits rothglühend geworden, ist der Gyps der oberen Lagen hinreichend gar. Bei der offenen Anlage dieser Oefen ist das Feuer sehr schwierig, oder kaum zu leiten und stets eine viel höhere Temperatur vorhanden, als nöthig und zweckmäßig ist. Die untern Gypsblöcke sind stets so überhitzt, daß sie im Wasser nicht mehr binden, oder „todtgebrannt", wie man es hier ebenfalls nennt, während die oberen Lagen nicht selten noch unvollkommen entwässert sind.

2. Das Brennen nach Scanegatty.

Der von Scanegatty angegebene Ofen, Fig. 16, ist bei weitem empfehlenswerther. Der gesammte innere Raum ist etwa 1 Fuß über dem Boden durch ein Gewölbe **P P** in zwei ungleiche Theile getheilt. Der obere, worin der zu brennende Gyps theils durch eine Einsatzöffnung **G**, theils durch die Mundöffnung **H** eingesetzt wird, ist mit 8 Zügen **JJJ** versehen; den 9. Zug bildet das Rohr in der Deckplatte **M.** Der untere Theil, der Feuerraum, steht mit der vor dem Ofen gelegenen Feuerung **E** in Verbindung. Der Zugkanal **C** endigt nämlich in dem Aschenfall unter dem Roste **A**, worauf ein Steinkohlenfeuer angezündet wird. Die Flamme tritt bei x unter das durchbrochene Gewölbe **P**, wo sie, gleichmäßiger über den Querschnitt des Ofens vertheilt, durch die Schlitze e desselben, aufwärts durch den Gyps nach den Zügen **JJJ** gelangt. — Ist die Hitze nicht gleichförmig in dem Ofen, so öffnet man die Register **JJ** an jener Seite, wo sie zu schwach ist, und man das Feuer hinleiten will, während man auf der entgegengesetzten Seite schließt. Die Oeffnung **L** dient zur Reinhaltung des Feuerraumes; diese so wie **G** und **H** sind während des Brandes geschlossen. Sobald die Temperatur bis zum Erscheinen des Wasserdampfes aus den Registern **J**

gestiegen ist, sucht man sie auf dieser Höhe zu erhalten und überzeugt sich von Zeit zu Zeit, ob eine darüber gehaltene, kalte Metallplatte noch lebhaft mit Feuchtigkeit beschlägt. Wenn diese Erscheinung abnimmt, so werden alle Zugänge geschlossen, und man läßt den Gyps so 12 bis 15 Stunden erkalten. Der Ofen hat 323 C.-F. Rauminhalt und faßt 220 C.-F. Gyps, so daß etwa 100 C.-F. auf die Zwischenräume kommen.

Das Verhalten des Gypses lehrt mehr als deutlich, daß das Brennen nur bei einer niederen und zwischen engen Grenzen eingeschlossenen Temperatur mit Erfolg stattfinden kann.

3. Das Brennen des Gypses mit erhitzten Wasserdämpfen.

Das gegenwärtige Verfahren, den Gyps zu brennen, ist in mehrfacher Hinsicht mangelhaft; die Steine werden in verschiedenen Theilen der Oefen nicht gleichmäßig gebrannt, bisweilen werden die Beschickungen nur unvollkommen oder zu stark gebrannt; endlich beeinträchtigen der Rauch und der Kohlenstaub die weiße Farbe des Gypses.

Man hat allerdings versucht, den Gyps in Koaksöfen zu brennen, oder auch mittelst eines heißen Luftstroms; endlich brannte man auch den zuvor in Pulver verwandelten Gypsstein in fixen oder beweglichen Apparaten aus Eisenblech, welche über freiem Feuer erhitzt wurden ꝛc. Aber die verschiedenen Verfahrungsarten, welche einen dem gewöhnlichen vorzuziehenden Gyps liefern, sind in so fern mangelhaft, als sie nicht gestatten die Temperatur zu regeln und zu fixiren; man ist daher auf die blinde Uebung angewiesen, daher Produkte von wandelbarer Güte unvermeidlich sind; überdieß gestatten diese Verfahrungsarten nicht, den Gyps in großen Quantitäten zu brennen.

Das neue Verfahren, welches wir jetzt beschreiben wollen, und welches von dem Franzosen Violette herrührt, vereinigt alle zum Brennen des Gypses nöthige Bedingungen, wodurch es zu einer der einfachsten und sichersten Operationen wird.

Das Heizmittel, welches das Holz- oder Steinkohlenfeuer ersetzt und anstatt einer Flamme den Gypsstein durchdringt, ihn entwässert und in einer gegebenen Zeit vollkommen brennt, ist der überhitzte Wasserdampf, nämlich der Dampf, welcher aus dem Kessel durch ein besonders erhitztes Schlangenrohr zog und darin die erforderliche Temperatur erlangte.

Der Apparat besteht aus einem gewöhnlichen Dampfkessel, einem metallenen Schlangenrohr und einem den Gypsstein enthaltenen doppelten Recipient aus Ziegelsteinen gemauert. Dieser

eirunde Recipient gleicht einem Kalkofen und hat zwei entgegengesetzte Oeffnungen, welche man luftdicht schließen kann, durch sie wird der Gyps eingetragen und herausgenommen; mit Hähnen versehene Röhren stellen die Verbindung zwischen diesen verschiedenen Theilen des Apparates her; die Temperatur des Dampfes vor seinem Eintritt in den Recipient zeigt ein in der Nähe dieses letztern angebrachtes Thermometer an.

Folgendes ist der Gang der Operation. Der im Kessel erzeugte Dampf circulirt im Schlangenrohr, erhitzt sich darin auf den erforderlichen Grad, gelangt in den ersten Recipient, umhüllt alle darin enthaltenen Gypsstücke, erhitzt sie, indem er in ihre Poren eindringt, brennt sie nach und nach und gleichmäßig, circulirt in allen Zwischenräumen derselben, geht dann in den nächsten Recipienten über, welcher ebenfalls mit Gypsstein gefüllt ist, und entweicht dann in die Luft, indem er alle Feuchtigkeit des Gypses, welche er in Folge seiner hohen Temperatur aufzunehmen vermochte, mit sich nimmt.

Das Brennen erfolgt in den zwei Recipienten nicht gleichmäßig. In dem ersten oder dem Dampfkessel zunächst befindlichen Recipienten findet es vollkommen statt, weil der Dampf aus dem Schlangenrohr unmittelbar in denselben mit der erforderlichen Temperatur von 200° C. (160° R.) gelangt. Bei seinem Eintritt in den zweiten Recipienten hat hingegen der Dampf nicht mehr die hinreichende Wärme; er bereitet daher das Brennen des Gypses nur vor, indem er allmählich dessen Temperatur erhöht, und man benutzt diesen Dampf zu diesem Zweck, anstatt ihn ohne Nutzen in die Luft entweichen zu lassen.

Nachdem der aus dem ersten Recipienten in den zweiten übergegangene Dampf seine Wirkung in letzterem vollbracht hat, verändert man die Richtung des Dampfes, indem man ihn aus dem Schlangenrohr unmittelbar in den zweiten Recipienten leitet (in welchem er das Brennen des schon vorbereiteten Gypses schnell beendigt) und ihn aus letzterem in den ersten, mit frischem Gyps beschickten Recipienten abziehen läßt.

Das Brennen des Gypses mittelst Dampf, welcher auf 200° C. erhitzt ist, beruht darauf, daß solcher Dampf ziemlich viel Wasser aufnehmen kann und solches allen Körpern, womit er in Berührung kommt, entzieht; er läßt sich deßhalb, wie ich schon früher zeigte, vortheilhaft zum Verkohlen des Holzes und zum Backen des Brodes oder Zwiebacks benutzen. Das neue Verfahren, den Gyps mittelst erhitzten Wasserdampfes zu brennen, ist durch die

Erfahrung bewährt. Violette hat nämlich auf diese Weise ziemlich bedeutende Quantitäten Gyps gebrannt, indem er dazu den Apparat anwandte, womit in der Pulverfabrik zu Esquerdes das Holz verkohlt wird. Dieser Apparat ist im Jahrg. 1848 des polytechn. Journals Bd. LX. S. 193 beschrieben und daselbst auch abgebildet. Er brachte in den Cylinder K von 0,180 Cubikmeter Hohlraum 150 Kilogr. Gypsstein, in cubische Stücke von 10 bis 15 Centimeter Seitenlänge zerschlagen. Der Gypsstein war von verschiedener Beschaffenheit; es war einerseits gelber, weicher, zerreiblicher, leicht zu brennender, andererseits harter, dichter, krystallinischer und schwer zu brennender Gyps. Es wurde Dampf von bloß $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Spannung angewandt und während der ganzen Dauer des Versuchs seine Temperatur (welche ein an der Austrittsstelle angebrachtes Thermometer anzeigte) zwischen 190° und 200° erhalten. Die Dampfmenge, welche im Apparate circulirte, betrug 20 Kilogr. per Stunde.

Der Versuch wurde neun Stunden ohne Unterbrechung fortgesetzt; nach Verlauf der drei ersten Stunden öffnete Violette den Apparat und nahm an verschiedenen Stellen Gypssteine heraus. Nach Verlauf der sechs ersten Stunden nahm er neuerdings Proben heraus; dasselbe that er nach neun Stunden, wo die ganze Beschickung herausgenommen und sogleich gewogen wurde. Der Gyps hatte 18 Proc. an Gewicht verloren und war daher vollkommen gebrannt, was auch sein Aussehen anzeigte, denn er war blendend weiß, zerreiblich, mehlig und fett anzufühlen. Zur Sicherheit mußte er sich noch auf andere Weise von der Güte der neuen Produkte überzeugen.

Der vollkommen gebrannte Gyps muß nach Payen $\frac{3}{4}$ seines Gewichts Wasser absorbiren, mit demselben erhärten und nach einigen Minuten eine feste Consistenz erlangen. Violette rührte daher 10 Gr. gut pulverisirten und gesiebten Gyps mit $32\frac{1}{2}$ Gr. Wasser an und ließ ihn stehen. Wenn die Mischung keine Consistenz hat, der Gyps in sandartigem und pulverförmigem Zustande sich auf den Boden des Wassers absetzt, so ist er schlecht und entweder nicht hinreichend oder zu stark gebrannt; wenn die Mischung eine weiche Consistenz hat, so ist der Gyps mittelmäßig und die Menge Wasser, welche über ihm steht, zeigt in der Probe das Verhältniß der schlecht gebrannten Theile an. Wenn die Mischung von Consistenz hart und fest ist, ohne überstehendes Wasser, so ist der Gyps vollkommen gebrannt.

Violette verglich nun die neuen Produkte einerseits mit

dem besten gebrannten Gyps, welchen man in Paris zu baulichen Zwecken anwendet und anderseits mit demjenigen, welchen man zum Gießen von Büsten 2c. benutzt; er fand:

1) daß der drei Stunden lang mittelst Dampf gebrannte Gyps das Wasser eben so bindet wie der zu gewöhnlichem Mörtel dienende Gyps und demselben vollkommen gleicht, jedoch blendend weiß ist, während der gewöhnliche Gyps eine graue Farbe hat; daß er jedoch das Wasser nicht so gut bindet wie der zum Gießen von Büsten 2c. dienende Gyps;

2) daß der sechs Stunden lang in Dampf gebrannte Gyps mit Wasser eben so gut erhärtet wie derjenige der Büstengießer und letzterem vollkommen gleicht;

3) daß der neun Stunden lang mittelst Dampf gebrannte Gyps vortrefflich ist; aber vor dem bloß sechs Stunden lang gebrannten keinen merklichen Vorzug besitzt.

Violette hat einen zweiten, ganz ähnlichen Versuch angestellt, wobei er jedoch Dampf von 1 Atmosphäre Spannung anwandte; in diesem Falle circulirten 40 Kilogr. Dampf per Stunde im Apparat, und der Gyps wurde zwar in kürzerer Zeit vollständig gebrannt, welche jedoch mit den größeren Kosten nicht im Verhältniß stand. Es ist daher am vortheilhaftesten, Dampf von höchstens ½ Atmosphäre Spannung anzuwenden, vielleicht nur von ¼ oder wie sie hinreicht, um der Circulation versichert sein zu können.

Wir haben gesehen, daß es, um 150 Kilogr. Gypsstein zum Bereiten von Gypsmörtel genügend zu brennen, hinreicht, ihn drei Stunden lang in einem Strom erhitzten Wasserdampfes zu lassen, oder mit andern Worten: 60 Kilogr. erhitzten Dampfs durch ihn ziehen zu lassen. Da nun der Cubikmeter zerschlagener Gypssteine 1300 Kilogr. wiegt und 1000 Kilogr. gebrannten Gyps liefert, so folgt, daß zum Brennen von 1 Cubikm. zerschlagener und gemengter Steine 520 Kilogr. Dampf erforderlich sind. Nun muß man aber berücksichtigen, daß die Oefen für das neue Verfahren doppelte sind und daß der Dampf, welcher seine erste Wirkung in dem ersten Ofen ausgeübt hat, aus demselben, beiläufig 200° C. heiß, in den zweiten beschickten Ofen abzieht, um in letzterem das Brennen des Gypses vorzubereiten. Dasselbe wird schon in ziemlichem Grade vorgerückt sein, wenn man den aus dem Schlangenrohr kommenden Dampf, nach Beendigung des Brennens im ersten Ofen, unmittelbar in den zweiten Ofen einziehen läßt; der Dampf hat also im Letzteren weniger zu leisten, wird den Gyps schneller fertig brennen, und man kann daher die oben angegebene Dampfmenge füglich um ⅓ redu-

ciren. Es wären daher zum Brennen von 1 Cubikm. zerschlagener Gypssteine (welcher 1000 Kilogr. Produkt liefert) mittelst des in Fig. 18 u 19 abgebildeten Apparates 350 Kilogr. Dampf erforderlich und hinreichend. Ein Dampfkessel mit zweckmäßiger Feuerung erzeugt mit 1 Kilogr. Steinkohlen 6 Kilogr. Wasserdampf. Um 1 Cubikm. Gypssteine zu brennen, werden daher bei dem neuen Verfahren 58,3 Kilogr. Steinkohlen erforderlich sein, wonach sich die Gestehungskosten des Produktes für alle Localitäten berechnen lassen.

Die Vortheile des neuen Verfahrens sind also:

1) daß man einen gebrannten Gyps von besserer Qualität mit Sicherheit erzielt;

2) daß derselbe weiß ist, also nicht die schmutziggraue und trübe Farbe des gewöhnlichen zur Mörtelbereitung dienenden Gypses hat, welche durch Kohlenstaub verursacht wird;

3) daß die Operation des Brennens sehr leicht auszuführen ist, weil man bloß einen Dampfkessel zu heizen hat;

4) daß der Gyps wohlfeiler gebrannt werden kann als bisher, was sich aus den oben mitgetheilten Daten ergibt.

Der schätzbarste Vortheil des neuen Verfahrens ist aber vielleicht der, daß es gestattet, den Dampf ohne größere Unkosten als Triebkraft zu benutzen, bevor man ihn als Heizmittel verwendet. Man kann nämlich den Dampf nach seinem Austritt aus dem Kessel zum Betrieb einer Dampfmaschine anwenden und ihn beim Austritt aus derselben in das Schlangenrohr leiten, um ihn zu erhitzen und dann in die Gypsöfen einziehen zu lassen. Bei einem Apparat, wie ihn Violette vorschlägt, um täglich 100 Cubikm. Gyps brennen zu können, reicht die Dampfmenge hin, um vorher eine Maschine von 80 Pferdekräften in Betrieb zu setzen. Man mußte für diese Dampfmaschine allein täglich 6000 Kilogr. Steinkohlen verbrennen; folglich wird durch die zum Brennen des Gypses erforderlichen Kohlen die Maschine umsonst gespeist.

Die Abbildungen zeigen die Construction eines Apparates, mit welchem man täglich 100 Cubikm. Gypsstein durch erhitzten Wasserdampf brennen kann.

Fig. 18 ist der senkrechte Durchschnitt nach der Linie **A B C D** in Fig. 19 und Fig. 20 ist der Grundriß nach der Linie **E F G H** der Fig. 18.

Dieser Apparat besteht aus zwei Dampfkesseln **a a** von zusam-

men 80 Pferdekräften, mit einem Schlangenrohr k und drei aus Ziegeln gebauten Oefen c d e, welche durch ein System mit Hähnen versehener Röhren verbunden sind; man trägt den Gyps durch die obere Oeffnung f f f ein, und schafft ihn nach dem Brennen durch die untere Oeffnung g g heraus.

Folgendes ist der Gang der Operation. Angenommen, die drei Oefen c d e seien mit Gypsstein gefüllt und der Ofen c empfange den Dampf aus dem Schlangenrohr, welcher dann in den Ofen d abzieht; man öffnet bloß die Hähne 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, alle anderen bleiben geschlossen. Der in den Kesseln a a erzeugte Dampf dringt durch das Rad in das Schlangenrohr k, erhitzt sich darin, und tritt durch das Rohr i, an welchem ein Thermometer angebracht ist, aus, zieht im Rohr j hinauf, dringt dann in das Rohr v, hierauf in das Rohr k l, gelangt von oben nach unten in den Recipient c, dringt durch die Gypsstücke, erhitzt und brennt sie, steigt durch das verticale und gebogene Rohr m wieder hinauf, zieht in den horizontalen Schenkel n dieses Rohrs, tritt in den Recipient d, dringt von oben nach unten durch denselben und steigt durch das verticale gebogene Rohr o wieder auf, um durch einen Hahn am horizontalen Theile des Rohres p in die Luft zu entweichen.

Wenn das Brennen im Ofen c beendigt ist, muß man den Dampf aus dem Schlangenrohr in den Ofen d und aus letzterem in den Ofen e gelangen lassen. Hierzu öffnet man bloß die Hähne 1, 2, 3, 6, 9, 10 und läßt die andern geschlossen. Der Dampf gelangt in das Rohr j, dringt in das Rohr q, dann in das Rohr n, durchzieht den Ofen von oben nach unten, steigt durch das Rohr o auf, gelangt durch das Rohr in den Ofen e, durch welchen er zieht, und steigt durch das verticale und gebogene Rohr r auf, um sich in der Luft zu verlieren, indem er durch einen Hahn austritt, welcher an einer Stelle des horizontalen Theil des Rohrs angebracht ist.

Will man nach dem Brennen des Gypses im Ofen d den Dampf des Ofens e in den Ofen c gelangen lassen, welcher neuerdings mit Gyps beschickt wurde, so öffnet man bloß die Zähne 1, 2, 10, 11, 4, 5, und läßt die andern geschlossen. Der Dampf gelangt nun aus den Rohr j in das Rohr t, hierauf in das Rohr u, zieht von oben nach unten durch den Ofen e, steigt durch das Rohr r auf, gelangt durch das Rohr s t in den Ofen c, welchen er ganz durchdringt, und steigt durch das verticale und gebogene Rohr m auf, um

durch einen am Rohr n angebrachten Hahn in die Luft zu entweichen.

Auf diese Weise wird das Brennen von Gyps ununterbrochen fortgesetzt.

4. Uebelstände beim Brennen des Gypses.

Dieser Anforderung und den mit dem freien Feuer verknüpften Uebelständen gegenüber, wäre es unbegreiflich, warum man in der Praxis die alte Methode, wo es sich um den Betrieb im Großen handelt, nicht längst gegen das Brennen mit Dampfheizung, oder mit heißer Luft vertauscht hat, wie schon mehrfach vorgeschlagen worden, wenn nicht die Einfachheit und Wohlfeilheit der Behandlung eine naheliegende Erklärung böte. Am leichtesten ließe sich die Temperatur des Dampfes durch geeigneten Druck reguliren, während heiße Luft den Vortheil gewähren möchte, daß sie unmittelbar durch die Gypsmassen geleitet werden kann, was bei dem Dampfe unmöglich angeht. Ueberhitzung, Unterhitzung, Todtbrennen, Verwandlung in Schwefelkalcium 2c. würden gänzlich wegfallen.

Bei dem beschriebenen Ofen älterer Art ist es am mißlichsten, daß man den Gyps in großen Stücken einsetzt oder einsetzen muß, die sich so schwer bis auf den Kern durchbrennen. Es ist also schon bei einem Ofen ein Vorwurf an sich, wenn seine Einrichtung das Kleinschlagen der Gypsblöcke bis zur Größe einer Nuß oder eines Eies verbietet.

III. Das Mahlen des Gypses.

Das Pulvern des gebrannten Gypses hat bei seiner Mürbheit wenig Schwierigkeiten. Es geschieht theils in Stampfmühlen, theils unter stehenden Mühlsteinen, am häufigsten aber in Mühlen nach Art der Getreidemühlen, oder in diesen selber. Auch Walzmühlen sind empfohlen worden. Eben so geeignet wie Mühlen mit Steinen sind die oben beschriebenen Pulverisirtonnen. Zum Abgießen von Medaillen, Bildwerken, auch zu Stuccaturarbeit, ist ein feines und gleiches Korn erforderlich; der Gyps muß zu diesen Zwecken einen gleichmäßigen Staub bilden.

IV. Das Gießen des Gypses.

Für die Wärmeentwickelung, welche jedesmal eintritt, wenn der Gyps Wasser bindet, gilt das über das gleiche Verhalten des Kalkes Gesagte. Obgleich der Gyps nur etwa $\frac{1}{4}$ seines Gewichtes an Wasser wirklich chemisch bindet, so hat er doch die Eigenschaft, noch zu einer festen, zusammenhängenden Masse zu erstarren, wenn er mit einem gleichen Gewichte und mehr, kurz, mit

so viel Wasser angemacht wird, daß er damit einen Brei bildet. Es entsteht nämlich durch Aufnahme der 2 Aeq. Wasser aus den Pulvertheilen ein poröses Haufwerk, oder vielmehr Gewebe von Gypskrystallen, welche den Ueberschuß in ihren Zwischenräumen mechanisch aufnehmen und beim Trocknen an die Luft abgeben. Anfangs ist die frisch erstarrte, noch feuchte Gypsmasse sehr weich, gewinnt aber ihre volle Härte mit dem Austrocknen, wobei sich der im überschüssigen Wasser gelöste Gyps allmählich absetzt und die erstarrten Theilchen noch fester an einander kittet. Erhärteter Gyps steht in seiner Härte weit unter den gewöhnlichen Steinen, und kann, obgleich er ziemlich klingend ist, doch leicht mit dem Fingernagel geritzt werden. Die Fähigkeit des Gypses, mit einem großen Ueberschuß an Wasser noch zu erstarren, ist überaus wichtig, weil er natürlich nur als flüssiger Brei gehörig in die Vertiefung und Feinheit der Form eindringt. Für sehr zarte Formen, z. B. Medaillen, muß der Brei dünnflüssiger sein, als für gröbere Formen. Je dünner der Gyps aber angemacht war, um so lockerer und poröser der Guß und umgekehrt. Dieser nützliche Wink erfährt in der Praxis vielfache Berücksichtigung; so weiß man z. B. bei den Gypsformen für die Töpferei den nöthigen Grad von Porosität genau durch einen bestimmten Wasserzusatz hervorzubringen. Die Menge des Wassers hängt aber sehr viel von der jedesmaligen Beschaffenheit des Gypses und von dem Grade des Brennens ab, eben so die Zeit der Erhärtung. Im Allgemeinen ist diese für gleich stark gebrannten Gyps um so bedeutender, je mehr fremde Theile er enthält (z. B. kohlensauren Kalk), und je verdünnter der Brei war.

Bei einem übermäßigen Wasserzusatze nehmen die Gypstheilchen das Nöthige zwar davon auf, aber ohne einander zu binden; eben so verliert gebrannter Gyps seine Erhärtungsfähigkeit, wenn er längere Zeit der feuchten Luft ausgesetzt war. Wird regelmäßig erstarrter Gyps in Wasser getaucht, so wird er darin mehr und mehr weich bis zum endlichen Zerfallen.

Bekanntlich gießt man zur Vervielfältigung von Kunstwerken 2c. den Gyps vielfach in Gypsformen. Damit der Abguß nicht mit der Form zusammenwächst, tränkt man die letztere mit Oel, oder besser mit einer Salbe aus Oel und Seife, aber so, daß nichts davon über die Gypstheile hervorsteht. — Von der Härte und Dichtigkeit, die man dem Gusse zu geben wünscht, von dem Erforderniß einer raschen oder langsamen Erstarrung, von der Feinheit des Gegenstandes und endlich von der Beschaffenheit des Gypses

selbst hängt es ab, ob man ihn zu einem flüssigeren oder steiferen Brei anmachen muß.

V. Das Gießen der Formen des Gypses.

Bei der Nachbildung von Kunstwerken mittelst Gypses handelt es sich zunächst um die Herstellung der Form. Diese hat nur unbedeutende Schwierigkeiten, wenn der Gegenstand flach und einseitig ist, wie bei Medaillons, Münzen rc., wo keine einspringende Winkel das Abziehen der Gypsform verändern. Solche Formen werden aus einem Stücke gemacht.

Sehr bedeutend sind die Schwierigkeiten, wenn es die Gestalt des abgeformten Gegenstandes unmöglich macht, ihn aus der Gypshülle (der Form) herauszunehmen, ohne diese zu beschädigen oder zu zerstören, wie bei Statuen rc. In diesem Falle muß die Form aus so vielen Theilen angefertigt werden, daß man jeden einzelnen bequem von dem Modelle abziehen kann. Alle diese Theile zusammengefügt bilden nachher die Gießform. Es giebt drei Wege, solche Formen zu machen.

Entweder formt man die einzelnen Theile als eben so viele gesonderte Gegenstände ab und fügt diese Theilformen nachher aus der Hand und unabhängig vom Modell (durch Zurichten der Kanten rc.) zu einer einzigen Form auseinander; oder man umgießt das Modell mit einer einzigen Gypsmasse, die man alsdann in Theile zerbricht und ablöst. Um dies mit mehr Regelmäßigkeit thun zu können, schneidet man von außen zuerst Fugen bis nahe auf das Modell ein; alsdann springen die Theile nach der Richtung dieser Einschnitte.

Im ersten Falle hängt zu viel von der Geschicklichkeit des Künstlers ab und die Abgüsse werden selten treu. Bei der zweiten Art dagegen ist dies in hohem Grade der Fall; allein die zackigen Bruchränder bröckeln schon nach dem ersten Abgusse so stark aus, daß alsdann störende Gußnäthe u. s. w. entstehen. Deßhalb ist der einzige Weg, zugleich scharfe und zahlreiche Abgüsse mit derselben Form zu erzielen, wenn man diese endlich drittens, stückweise auf dem Modell gießt. Zu dem Ende begrenzt man den ersten Formtheil auf dem Modell mit einem Thonrande, und gießt Gyps ein. Der erstarrte Formtheil wird nunmehr abgehoben, seine Ränder keilförmig abgeschrägt, in dieselben ringsum halbkugelige Vertiefungen eingegraben, worauf man ihn fettet, wieder auf die betreffende Stelle des Modells aufsetzt, und einen zweiten Formtheil gerade daneben gießt. An jenen kugelförmigen Vertiefungen werden nun Erhabenheiten entstehen, mittelst welcher dann die Formtheile sicher und fest an

einander gepaßt werden können. So fährt man fort, bis der ganze Umfang vollendet ist. Eine solche Form liefern 60 und mehr gute Abgüsse, ehe die feineren Theile stumpf erscheinen.

Die meisten, besonders größere Abgüsse, werden der Ersparniß und größeren Leichtigkeit halber hohl gegossen. Zu dem Ende gießt man erst sehr flüssigen Gypsbrei in die Form, die man so lange umschwenkt, bis derselbe eben starr wird, und bringt dann als zweite und Verstärkungsschicht die nöthige Menge von steiferem Brei ein. Ueberhaupt ist es sehr gerathen, bei besonders feinen Gegenständen und delicaten Formen zuerst einen Anstrich von feinstem dünnen Gypsbrei mit dem Pinsel zu geben, und darauf erst zu gießen. So bei Münzen mit feinem Gepräge. Auch natürliche Blätter lassen sich vortrefflich abgießen, wenn man sie auf einer passenden Unterlage gehörig stützt, dann anstreicht und, wenn sie steif geworden, mit einer dicken Schicht Gyps übergießt. — Besonders nützlich ist ein solcher Anstrich dadurch, weil keine Luftblasen an die Oberfläche kommen können.

Für das Abgießen von Gegenständen in den genauen ursprünglichen Dimensionen ist zu bemerken, daß der Gyps beim Erhärten sich um ungefähr 1 Proc. ausdehnt. Diese Ausdehnung wird natürlich compensirt, wenn man aus der Gypsform wieder einen Abguß von Gyps (nicht aber von Metall 2c.) macht.

In Orten wie Paris, wird der Gyps in großer Menge als Mörtel zum Verputz angewendet. Während bei gelöschtem Kalke der Zusatz von Sand verbessernd und wesentlich ist, so findet bei dem Gypse das Gegentheil statt. Er verträgt nicht viel, etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Sand oder Ziegelmehl, und erhärtet damit viel langsamer und schlechter, als im reinen Zustande.

Gypsbewurf an Wänden 2c. lassen sich leicht schleifen, poliren und färben, so daß sie den natürlichen Marmor täuschend nachahmen. Solche Arbeiten sind unter dem Namen Stucco bekannt, worunter man auch wohl architektonische Gypsverzierungen überhaupt versteht.

Für Stucco legt man zuerst einen Grund von rauherem, gröberem Gyps, worauf man den feinern Gyps mit Leimwasser anmacht und ebenfalls aufträgt. Damit man die gehörige Zeit hat, muß er so vorgerichtet werden, daß er erst in 20 bis 30 Minuten erstarrt. Durch Mitwirkung des Leimwassers wird der trockene Ueberzug fest genug, um sich mit Bimsstein ebenschleifen zu lassen. Die ebengeschliffene Oberfläche reibt man nunmehr, um alle Poren und Vertiefungen möglichst auszufüllen, mit Gypsbrei ein, den

man mit stärkerem Leimwasser angemacht hat, was erforderlichen Falls wiederholt wird. Nach dem völligen Trocknen ist die Oberfläche durch den Einfluß des Leimwassers hart genug geworden, um mit Tripel und Leinwandballen polirt werden zu können. Inzwischen tränkt man den Stucco mittelst einer Bürste mit Leinöl.

Durch Zusatz einer Erdfarbe, wie Mennige, Schüttgelb, Engelroth, Umbra, Kienruß, Indigo ꝛc. zu dem Leimwasser, womit man nachher den Gyps anrührt, lassen sich alle Farben erzeugen. Wenn man ferner verschieden gefärbte Gypsschichten der Art über einander legt, so wird der Durchschnitt gebändert; wenn man die Lagen durch Kneten und Dehnen verzieht und in einander verwebt, so wird er marmorirt erscheinen. In der That besteht der farbige Stückmarmor nur aus den Querschnitten solcher auf einander gelegter Kuchen.

VI. Das Härten des Gypses.

Bei der großen Weichheit und Ritzbarkeit, folglich geringen Dauer des gegossenen Gypses hat man sich längst nach Mitteln umgesehen, diese Eigenschaft zu verbessern. Die Mittel und Wege, die man nach und nach aufgefunden hat, machen zusammen das, was man gewöhnlich das „Härten" nennt.

Vorerst verdient eine Beobachtung Gay-Lussac's Erwähnung, wonach unter gleichen Umständen der härteste rohe Gyps auch nach dem Brennen den härtesten Guß giebt und umgekehrt. Eigentliche Härtungsmittel, sind neben dem Leime, beim Stucco, besonders die folgenden.

Nach Tissot wird der gebrannte Gyps nach dem Anmachen und Erhärten mehrmals abwechselnd in Wasser getaucht und dazwischen wieder getrocknet. Es scheint dieses Verfahren lediglich auf eine vermehrte Aneinanderkittung der Theile durch Krystallisation hinauszugehen.

Weit besseren Erfolgs und interessanter ist das anfangs von Pauware angegebene, nachher von Greenwood verbesserte Verfahren, Gyps mittelst Alaun zu härten, worüber neuerdings Elsner wichtige Erfahrungen bekannt gemacht hat. Maan hat also zweierlei Alaunhärtungen zu unterscheiden.

Bei der ersten werden fertige Gypsgüsse mit Alaunlösung behandelt. Eine große Büste wurde einen Monat lang in eine Lösung von eisenfreiem Alaun in 12 und 13 Th. Wasser von 15° C. gelegt, und nach Ablauf dieser Zeit abgespült und in einem warmen Luftstrome getrocknet. Während sie vorher leicht mit dem Nagel geritzt werden konnte, zeigte sie nunmehr eine bedeutende

Härte und färbte durchaus nicht mehr ab, wie sie vorher gethan. Sie ertrug sogar starke Schläge mit einem eisernen Hammer, ohne zertrümmert zu werden. Neben diesem Vorzuge zeigt sich dagegen der Nachtheil einer fleckigen, in's Graue gehenden Farbe und einer Unbeständigkeit gegen den Einfluß der Feuchtigkeit. In reines Wasser gesenkt, werden so gehärtete Abgüsse so weich, daß sie leicht Eindrücke der Finger annehmen.

Nach der zweiten Methode, mit Alaun zu härten, behandelt man Gypsblöcke, wie sie aus dem Ofen kommen, mit Alaunlösung wie oben — oder rührt gepulverten Gyps mit solcher Lösung an — und brennt dann zum zweiten Male im Gypsofen, oder im Tiegel, bei der Rothglühhitze. Anhaltende gleichmäßige Temperatur ist sehr wesentlich dabei. — Der gealaunte und zum zweiten Male gebrannte Gyps hat ein mattes, milchweißes oder schwach isabellfarbenes Ansehen, und ist leicht pulverbar. Bei übertriebener Hitze werden die Blöcke an den Kanten steinhart, schwer pulverbar und sind wirklich todtgebrannt. Richtig gebrannter Alaun-Gyps dagegen erstarrt nach dem Pulvern und Brennen eben so leicht wie gewöhnlicher Gyps. Wird das Gypsmehl mit Wasser angemacht, so wird zwar das Wasser gebunden, aber das Produkt hat keine bemerkenswerthe Härte. Diese tritt nur dann gehörig hervor, wenn man das Pulver des gealaunten und gebrannten Gypses nicht mit Wasser, sondern mit Alaunlösung (mit $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{13}$ Alaun) anmacht. Gypsabgüsse bleiben, nach dieser Methode gemacht, etwas länger feucht, nehmen aber eine Härte an, die der des Alabasters und Marmors gleich kommt, und erhalten besonders an dünnen Theilen und Kanten eine Art Durchscheinenheit, welche ihnen das Ansehen dieser Steine giebt. Dickere Platten sind kaum mit Hammerschlägen zu zertrümmern. Die Oberfläche nimmt eine gute Politur an, und ist weich, mit einem Stich ins Isabellenfarbene. Platten, Monate lang allen Unbilden der Witterung im Winter ausgesetzt, bleiben unversehrt, ohne im Mindesten ihre Härte zu verlieren. Die Oberfläche kann mit nassen Tüchern ohne die geringste Beschädigung abgewaschen werden. Ja weder Eintauchen in kaltes, oder stundenlanges Liegen in kochendem Wasser vermag dem gehärteten Gyps etwas von seiner Härte zu benehmen (Elsner).

Die chemische Erforschung des Vorganges der Gypshärtung durch Alaun ist bis jetzt eine bedauerliche Lücke geblieben. Vielleicht daß zwischen dem schwefelsauren Kalke und der schwefelsauren Thonerde eine ähnliche Verwandtschaft existirt, als sie zwischen dieser und der schwefelsauren Bittererde bekannt ist.

Die Leichtigkeit, mit welcher der gebrannte Gyps erhärtet, wenn er mit Wasser zu einem Teig gemacht wird, macht ihn sehr nützlich in den Künsten; bisher wußte man nicht, ob auch der rohe oder natürliche Gyps diese Eigenschaft besitzt.

Der rohe, fein gepulverte Gyps ist einer unmittelbaren und vollkommenen Solidification fähig, wenn er mit gewissen Solutionen von Kali vermischt wird, vorzüglich mit caustischem Kali, mit kohlensaurem, doppeltkohlensaurem, schwefelsaurem, doppeltschwefelsaurem, kieselsaurem Kali und dem Weinstein-Doppelsalze, dem sogenannten Seignettesalze (dem weinsteinsauren Kali-Natron).

In allen diesen Fällen ist der Vorgang schneller, als wenn man gebrannten Gyps allein nimmt, und die resultirende feste Masse unterscheidet sich, ausgenommen in der Zusammensetzung, nicht wesentlich von der auf gewöhnliche Weise erhaltenen. Wenn auch kein eigentlicher Sättigungspunkt zwischen dem Gyps und diesen salzigen Materien zu existiren scheint, so erfordert er doch ohne Zweifel von jeder derselben eine gewisse Menge, um das Maximum des Festwerdens hervorzubringen. Wenn man Wasser allein anwendet, so zeigt der Teig keine merkliche Tendenz zum Erhärten, aber durch Zusatz einer der obigen Salzsolutionen tritt diese sogleich ein.

Die Zeit, in welcher das Festwerden eintritt, ist nach den verschiedenen Solutionen sehr abweichend. Auflösungen von kohlensaurem und schwefelsaurem Kali wirken sehr langsam, die Auflösung vom Seignettesalze fast augenblicklich.

Natronsalze zeigen diese Wirkung nicht, mit Ausnahme des oben erwähnten Seignettesalzes, welches indessen durch seinen Kaligehalt wirken möchte. Doch ist bemerkenswerth, daß sich einige neutrale Kalisalze, z. B. der Salpeter und das Chlorkalium, ebenfalls nicht unwirksam erweisen. Bei Anwendung von doppeltkohlensaurem Kali entsteht ein starkes Aufbrausen, welches der Solidification nachtheilig ist, obgleich sie dadurch nicht verhindert wird. Derselbe Nachtheil tritt ein bei Anwendung des sauren schwefelsauren Kalis, wenn das Mineral kohlensauren Kalk beigemischt enthält.

Da man nun mitunter die Ansicht hegt, daß das Festwerden des gebrannten Gypses von der Gegenwart von kohlensaurem Kalk abhänge, so wurden diese Versuche auch mit einem frisch gefällten schwefelsauren Kalk angestellt. Sie hatten denselben Erfolg. Auch ist zu erwägen, daß die zum Brennen des Gypses nöthige Hitze bei weitem nicht hinreicht, den beigemengten kohlensauren Kalk ätzend zu machen. Was aber auch seine Wirkung bei Anwendung der

Hitze sein mag, so muß sie im gegenwärtigen Falle doch gänzlich verschieden sein, da das saure schwefelsaure Kali allen im Gyps vorhandenen kohlensauren Kalk zersetzen muß.

Es sist wahrscheinlich, wie Gay-Lussac bei seiner Untersuchung über diese sonderbare Eigenschaft des gebrannten Gypses bemerkt, daß man dieselbe einer dem Minerale inwohnenden Eigenthümlichkeit zuschreiben müsse; aber die vorstehenden Versuche beweisen, daß sie nicht immer von der einfachen Verbindung mit Wasser aus der darauf folgenden Aggregation der saturirten Partikeln abhängt, wie es beim gebrannten Gypse der Fall zu sein scheint. Kaustisches und kohlensaures Kali sind sehr zerfließlich und können daher nicht durch eine rapide Krystallisation wirken. Schwefelsaures Kali kann auf die Zusammensetzung des schwefelsauren Kalkes keinen Einfluß ausüben; und obgleich das erstere Salz bei den andern oben erwähnten Mischungen stets entstehen mag, so dürfte es doch keine feste Verbindung mit dem Gypse eingehen. Das einzige Gleichmäßige bei allen diesen, die Solidification bewirkenden Salzsolutionen ist die nothwendige Gegenwart von Kali, und die Schnelligkeit, mit welcher die Operation vor sich geht, scheint mit der Voraussetzung, daß sie das Resultat einer Doppelzersetzung sei, im Widerspruch zu stehen. Wahrscheinlicher ist es, daß die Salzsolutionen eine Art Repulsion gegen die Partikeln des Gypses ausüben, und so die Solidification bewirken, die beim gebrannten Gypse so charakteristisch ist.

Der Versuch, bei welchem dieses Festwerden des rohen Gypses gefunden wurde, war wohl geeignet, dasselbe als das Resultat einer Zersetzung zu betrachten. Es war daher wünschenswerth, zu erfahren, in wiefern wohl frisch niedergeschlagener kohlensaurer Kalk fähig sei Gyps zu erzeugen. Es wurde gepulverter roher Gyps auf einem Filter mit einer kalten Solution von kohlensaurem Kali übergossen. Das Mineral wurde schnell fest und das Alkali augenscheinlich vermindert. Nach wiederholtem Aufgießen der abfiltrirten Flüssigkeit wirkte diese nicht mehr auf Curcumapapier oder geröthetes Lackmuspapier, und sie enthielt schwefelsaures Kali. Das schwefelsaure Kali aber ist nicht im Stande mit dem Gyps eine permanente Verbindung einzugehen, wie weitere Versuche zeigten.

Es ist möglich, daß man noch andere Salze entdecken wird, welche diese Einwirkung auf den Gyps noch besser zeigen, indessen empfiehlt sich das kohlensaure Kali (die Pottasche) wegen seiner Wohlfeilheit am besten dazu, vorausgesetzt, daß das Produkt eben so dauerhaft ist als das mit frisch gebranntem Gyps. Es ist be-

kannt, daß letzterer eine aufmerksame Behandlung erfordert und bald seine schätzbare Eigenschaft verliert, wenn er nicht vor Feuchtigkeit geschützt aufbewahrt wird. Der Prozeß des Brennens ist überdies nicht immer passend, und in diesem Falle ist die Lösung von Pottasche oder bloße Aschenlauge sehr passend, um eine schnelle Solidification zu bewirken.

Bekanntlich kann man dem gebrannten Gyps eine größere Härte und Festigkeit dadurch ertheilen, daß man ihn mit Alaunlösung tränkt, an der Luft trocknet und nochmals brennt.

John Keating ließ sich am 11. Febr. 1846 zu diesem Zweck in England folgendes Verfahren patentiren: Er erhitzt Gypsstücke, bis sie das Krystallwasser verloren haben und verbindet sie dann auf folgende Weise mit Borax. Man weicht 5 Pfd. Borax in 30 Pfd. Wasser ein, setzt dann noch 30 Pfd. Wasser zu und läßt die Flüssigkeit unter öfterem Umrühren einen Tag stehen. (Man kann ihr auch 5 Pfd. Weinstein in 60 Pfd. Wasser eingerührt beimischen, wo sich dann Boraxweinstein bildet und ein noch besseres Resultat erzielt wird.) In diese Auflösung bringt man die gebrannten Gypsstücke, welche davon ganz bedeckt sein müssen, und läßt sie so lange darin liegen, bis sie durch und durch damit getränkt sind. Die Gypsstücke kommen dann sechs Stunden lang in ein Ofen, welcher auf die bei Tageslicht sichtbare Rothglühhitze geheizt ist; man nimmt sie nach dieser Zeit aus dem Ofen, läßt sie erkalten und pulverisirt sie wie andere Cemente.

Eine andere Eigenschaft des Gypses, die möglicher Weise damit in Beziehung steht, ist zum Schlusse noch zu erwähnen. Es ist nämlich am Eingange dieses Abschnittes darauf hingewiesen worden, daß 1 Aeq. Wasser im Gyps ein salinisches sei und folglich durch Salze vertreten werden könne. Es findet bei der Bindung dieser Salze gerade so gut Erstarrung statt, wie mit Wasser, ohne daß übrigens eine größere Härte solchen Gyps auszeichnet. Lösungen von kohlensaurem, schwefelsaurem, kieselsaurem Kali bewirken eine weit schnellere Erhärtung als Wasser; bei weinsaurem Natronkali oder Seignettesalz erfolgt sie augenblicklich. Die erhärtete Masse sieht aus wie gewöhnlicher Gyps, erhärtet aber von neuem, wenn sie wieder gepulvert und mit der Lösung eines Kalisalzes angemacht wird. Doppelt kohlensaures Kali wird von Gyps zersetzt, indem die Kohlensäure entweicht; Aetzkali zerlegt einen Theil des Gypses, worauf in beiden Fällen Erstarrung erfolgt. Chlorsaures, salpetersaures Kali und die Natronsalze wirken nicht dahin.

Inhalt.

Bücher-Anzeige.

Im Verlage der G. Basseschen Buchhandlung in Quedlinburg sind ferner erschienen und in allen Buchhandlungen zu haben:

Mar. Wölfer's praktisches Lehrbuch zur Anfertigung der

Bauanschläge und Baurisse

von Wohn- und Landwirthschafts-Gebäuden, so wie Anweisungen zu deren Ausführung, nebst der dazu erforderlichen Materialienkunde. Für angehende Baumeister, Maurer- und Zimmermeister und die es werden wollen, für Magistratspersonen, Bauherren, so wie auch für Gewerbe- und Realschulen. Mit 28 großen, sauber lithogr. Tafeln, enthaltend Grund-, Auf- und Profilrisse von Gebäuden. gr. 8. Preis 1 Thlr. 27½ Sgr. Der zweite Theil (à 2 Thlr.) enthält 40 Tafeln Abbildungen.

Der Pisébau.

Eine gründliche und praktische Anweisung, auf dem Lande wohlfeile, gesunde, warme und dauerhafte Wohn- und Wirthschaftsgebäude von Erdmasse zu erbauen, so wie auch zur Mischung der verschiedenen Erdmassen, wodurch die Gebäude die gehörige Festigkeit und Dauer erhalten, nebst einer speciellen Anweisung zur Fertigung der Kostenanschläge. Für Maurer- und Zimmermeister, Maurer- und Zimmergesellen. Von Mar. Wölfer. Mit 6 lithograph. Abbildungen. gr. 8. Preis 20 Sgr.

G. Chr. R. Gebhardt: Die neuesten Erfindungen und Verbesserungen in Betreff der

Ziegelfabrikation,

so wie der Kalk- und Gypsbrennerei. Eine praktische Anweisung, alle Arten Dachziegel, Backsteine und Fließen nicht nur auf die gewöhnliche Weise, sondern insbesondere auch durch Maschinen zu verfertigen. Nach den neuesten, in Frankreich, England, Holland und Deutschland gesammelten Erfahrungen. Ein nützliches Handbuch für jeden Ziegelei-Besitzer, insbesondere für Diejenigen, welche die Fabrikation der Ziegeln im Großen betreiben wollen. Mit 9 Tafeln Abbildungen. Vierte, sehr verbesserte Auflage. 8. 1 Thlr. 10 Sgr.

Handbuch der

Galvanoplastik.

Zunächst für Künstler und Gewerbtreibende. Nach den neuesten Verbesserungen bearbeitet von Dr. Chr. H. Schmidt. Zweite sehr verbesserte Auflage. Mit 5 Tafeln Abbildungen. gr. 8. geh. Preis 1 Thlr.

Die neueren Fortschritte und Verbesserungen in der Galvanoplastik und ihrer mannichfachen Anwendung sind bedeutend. Diese Schrift handelt von den verschiedenen Anwendungen der Reduction der Metalle durch den Galvanismus; von dem Ueberziehen der Metalle mit edleren; von der Elektrotypie und verschiedenen andern Benuungsarten des Galvanismus.

Fr. Klingemann: Das natürliche und künstliche

Asphalt

und Asphaltmastix. Oder: Ueber das Vorkommen und die Eigenschaften des natürlichen und die Darstellung des künstlichen Asphalts. Nebst ausführlicher Anweisung zu deren verschiedenster, bereits üblicher oder noch möglicher Nutzanwendung zum Pflastern von Fußböden, Trottoirs, zu Asphaltdächern u. s. w. Für Ingenieurs, Bautechniker, Architekten, Zimmerleute und Maurer, so wie für Bauherren und Hausbesitzer. Preis 10 Sgr.

Die Gewinnung, Zubereitung und Verarbeitung des

Kautschuks oder Federharzes,

des vulkanisirten oder Schwefel-Kautschuks, des künstlichen Kautschuks und der Gutta percha. Oder: Ausführliche, wissenschaftlich begründete Anweisung, dieselben zu elastischen, luft- und wasserdichten Fabrikaten der verschiedensten Art zweckmäßig zu verarbeiten, nebst Angabe ihrer übrigen, bereits üblichen oder noch möglichen Nutzanwendungen. Von J. B. Bremer. Mit 1 Tafel Abbildungen. 8. geh. Preis 15 Sgr.

Wölfer: Der auf vieljährige Erfahrung gegründete

Kunst- und Brunnenmeister

in allen seinen praktischen Verrichtungen. Enthaltend eine gründliche Anweisung, alle Arten von Pumpbrunnen anzulegen und das Wasser aus denselben durch einfachen Mechanismus über 100 Fuß hoch in allen Richtungen zu treiben; zur Anlage der gebohrten Brunnen auf die einfachste und zweckmäßigste Art; zu Maschinen, um damit ertrunkene Schachte, Braunkohlen- und Torflager völlig zu entwässern; zu einer Maschine, welche das Wasser aus einer

Quelle über Ebenen und Berge von selbst treibt; so wie auch zu Bewässerungsmaschinen; ferner zum Planzeichnen, Aufnehmen und Nivelliren Behufs der Röhrenleitungen mit einer neu erfundenen und wohlfeilen Wasserwage. Mit 24 Zeichnungen und 2 Plänen. gr. 8. Preis 25 Sgr.

Ein höchst gemeinnütziges und populäres Hand- und Taschenbuch zum Selbstunterricht für angehende Kunst- und Brunnenmeister, Maurer- und Zimmermeister, Braunkohlen- und Torfgräberei-Aufseher, Bierbrauer und Branntweinbrenner ꝛc.

Hülfs-Tabellen

zur Berechnung des runden Holzes nach seinem kubischen Inhalte. Für Forstbediente, Holzhändler, Zimmerleute u. s. w. Von R. Boßmann. 8. Geh. Preis 10 Sgr.

Leop. Wolff: Neue blei- und zinnfreie

Glasuren und Emaillen.

Oder: Ausführliche Anweisung zur Bereitung der mannichfachsten und neuesten, bleihaltigen und bleifreien Glasuren, für alle Arten irdener Waaren, als Töpferzeug, Ziegel, Fayence, Steingut und Porzellan, so wie für eiserne Geschirre, nebst Anleitung zu der Kunst, weiß glasirte Stubenöfen schöner, haltbarer und billiger als bisher herzustellen, ohne dazu einer Glasur aus Blei- oder Zinnoxyd zu bedürfen. Für Fabrikanten irdener Waaren, Töpfer, Ziegler und Ofenfabrikanten. 8. Preis 10 Sgr.

Ferd. Ant. Bechstein: Der Fang der deutschen

Raub- und Rauchthiere.

Oder: Wie fängt man Füchse, Ottern, wilde Katzen, Baum- und Steinmarder, Iltis, Wiesel, Dachse, Kaninchen, Eichhörnchen, Hamster, Maulwürfe, Ratten, Mäuse und Raubvögel auf die sicherste, unterhaltendste und leichteste Weise. Mit genauer Beschreibung der eisernen und hölzernen Fallen, der Netze, Witterungen ꝛc. Für Weidmänner, Jagdfreunde, Kürschner. Zweite Auflage. 8. Geh. Preis 10 Sgr.

Die Angelfischerei,

nach allen ihren verschiedenen Betriebsweisen dargestellt. Nebst genauen Belehrungen über die Selbstverfertigung der Angelgeräthe, über den Köder und über das, was in Bezug auf den Fang der einzelnen bei uns vorkommenden Fische insbesondere zu beobachten ist. Von H. A. D. Werner. Mit 2 Tafeln Abbildungen. 8. Geh. Preis 10 Sgr.

Fig. 1.

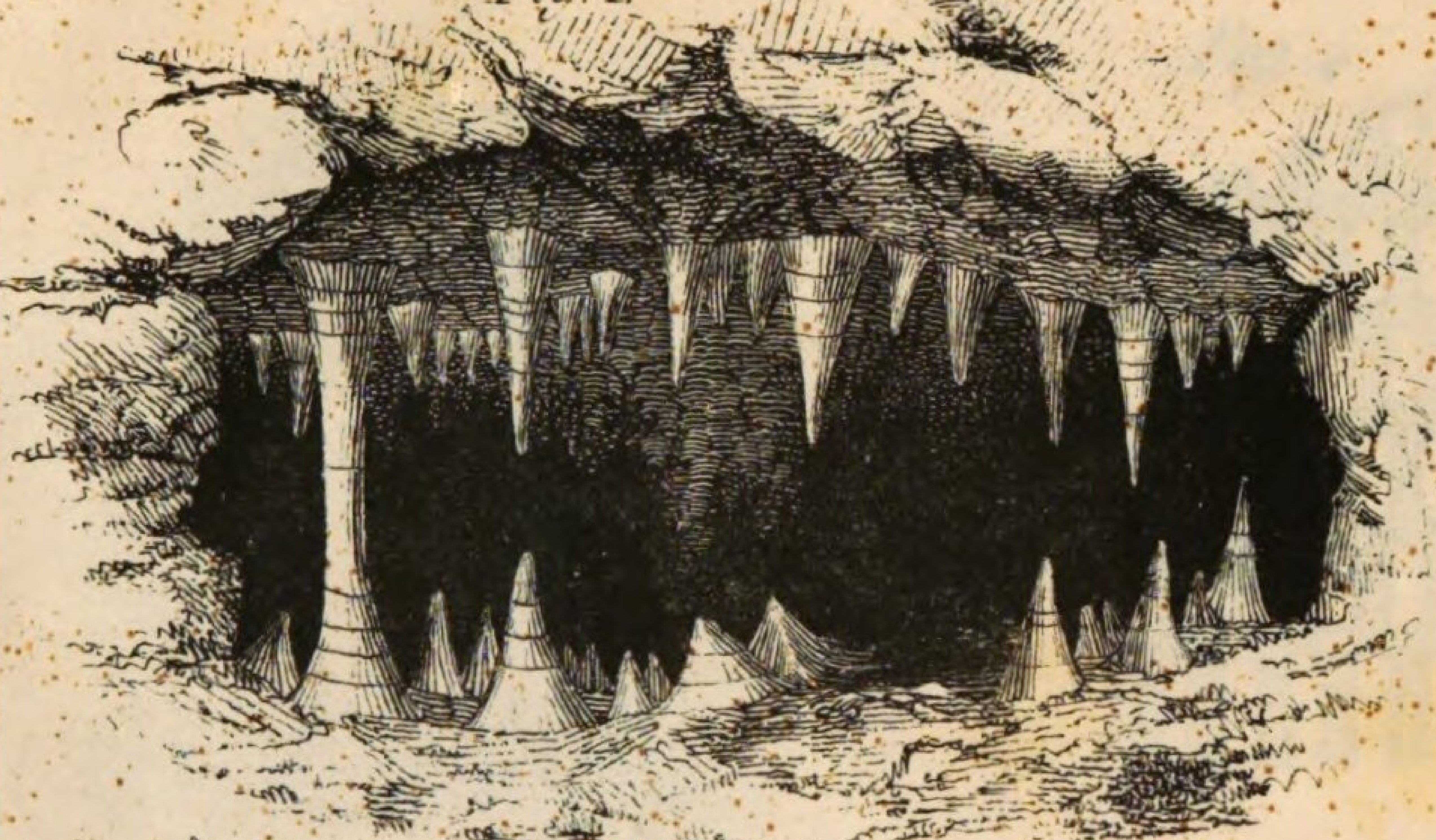


Fig. 2.

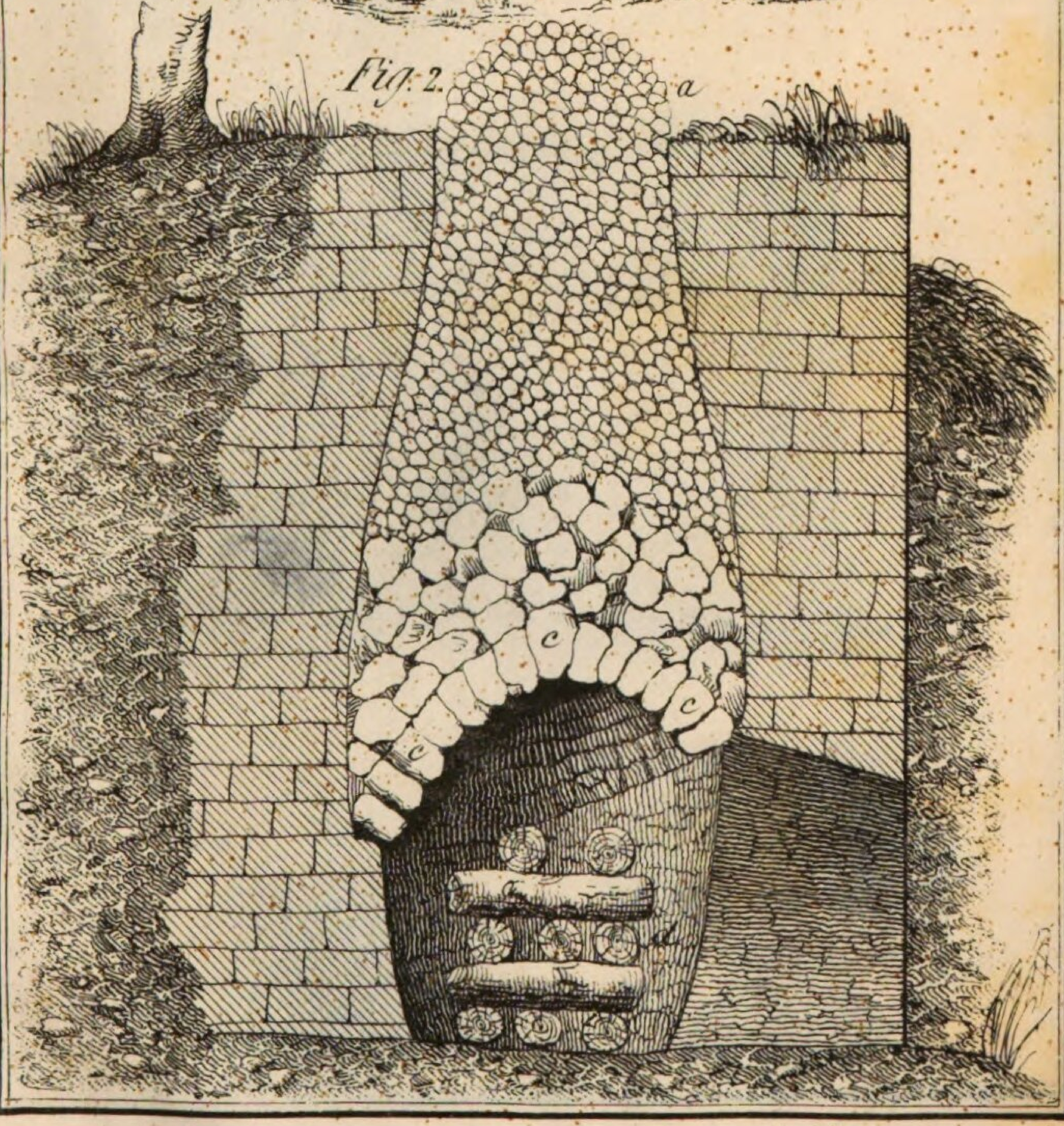


Fig. 3.

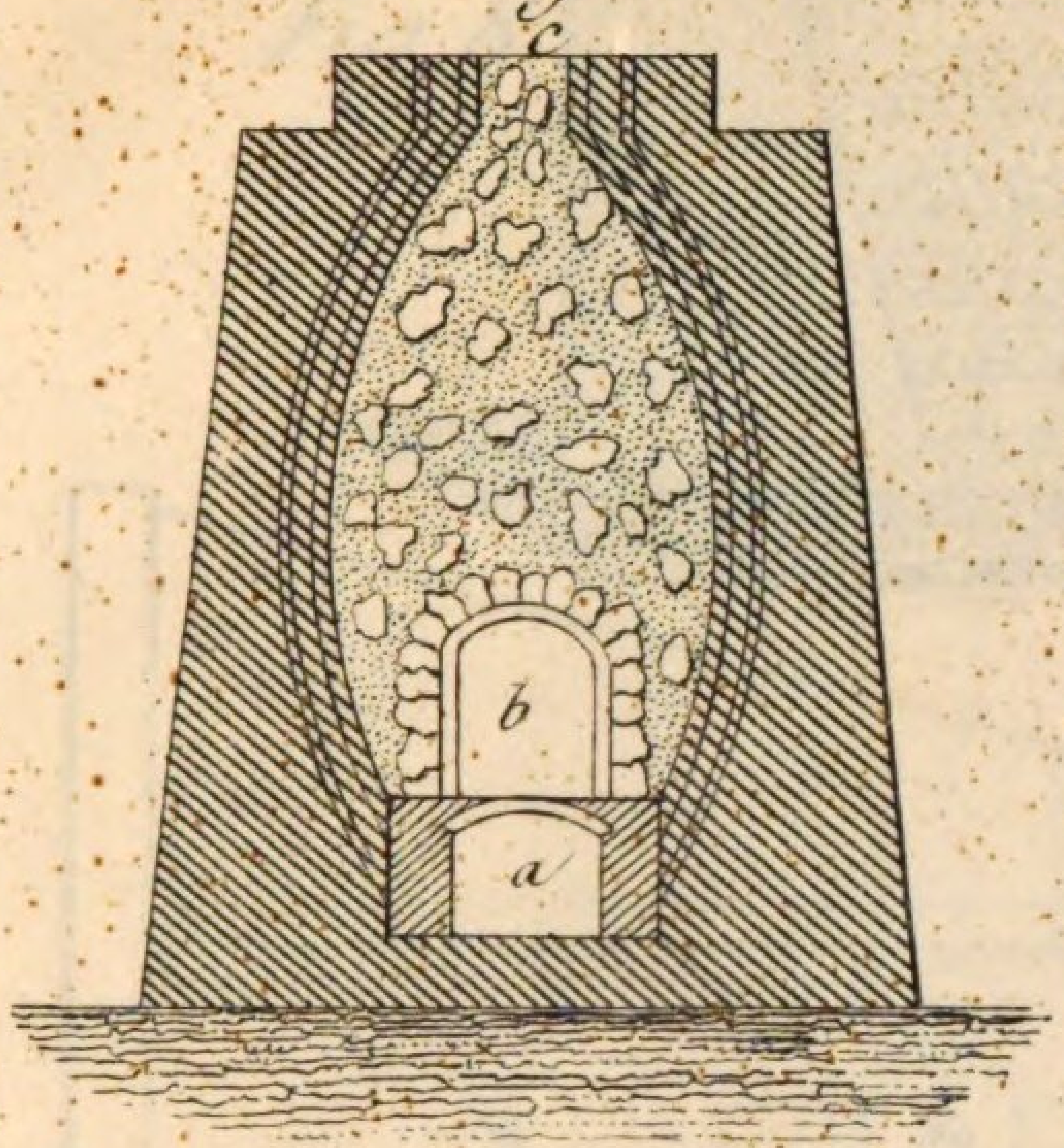


Fig. 4.

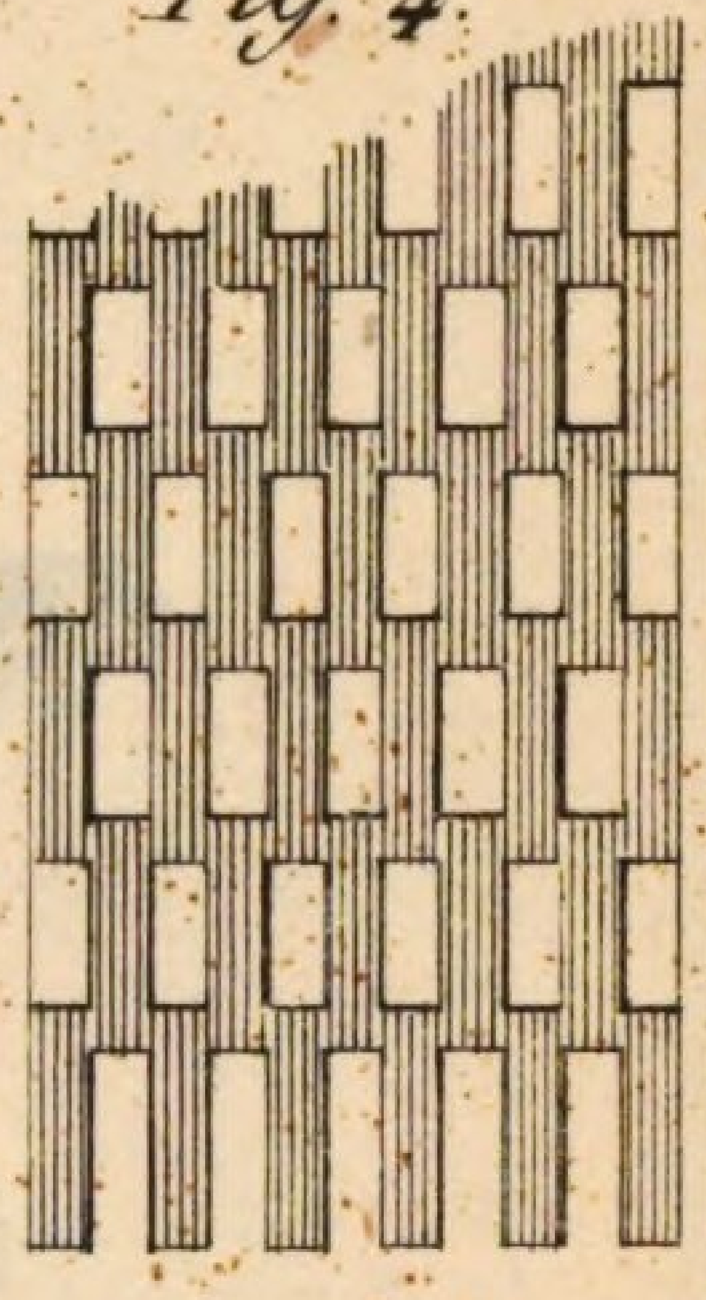


Fig. 5.

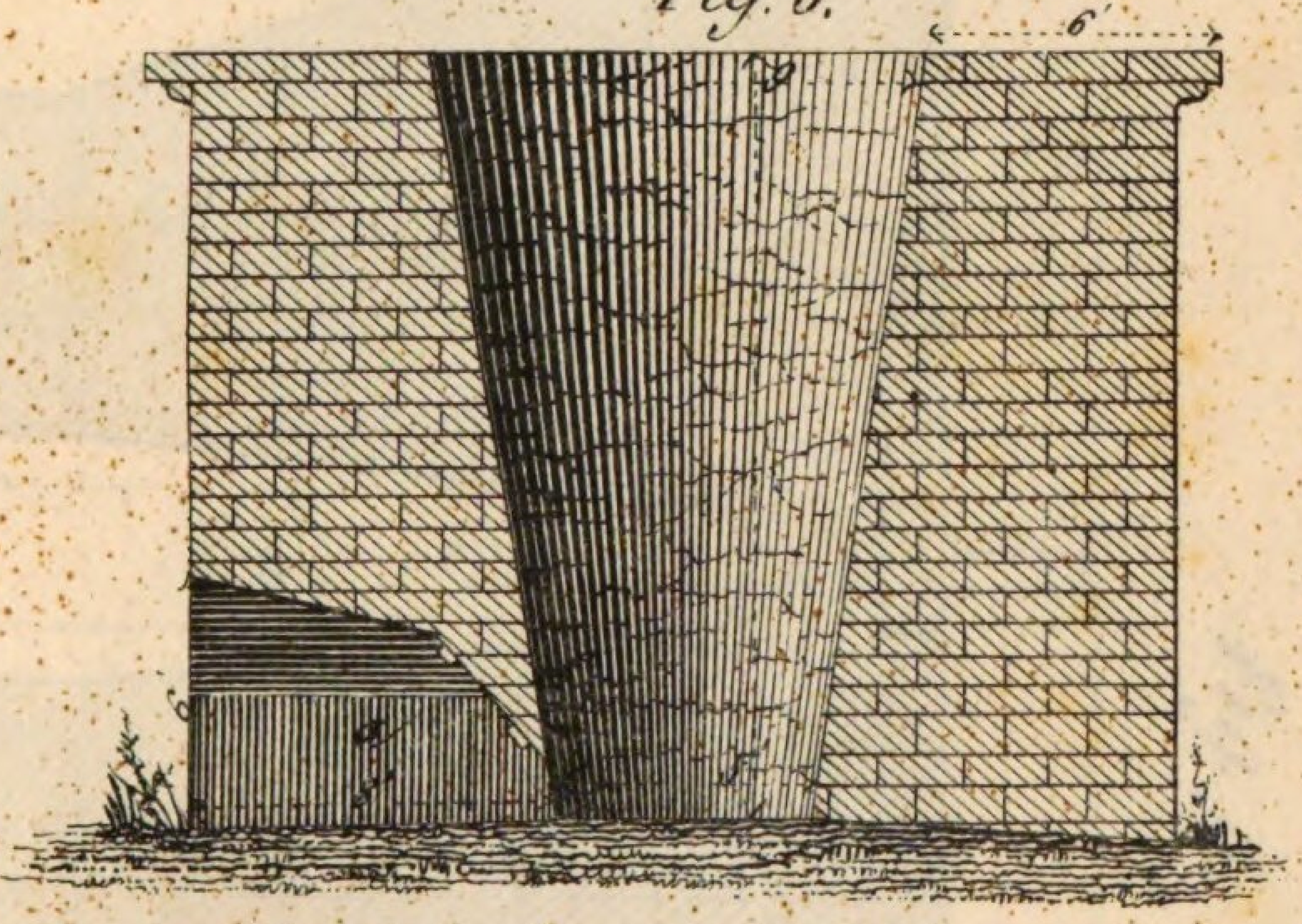


Fig. 6.

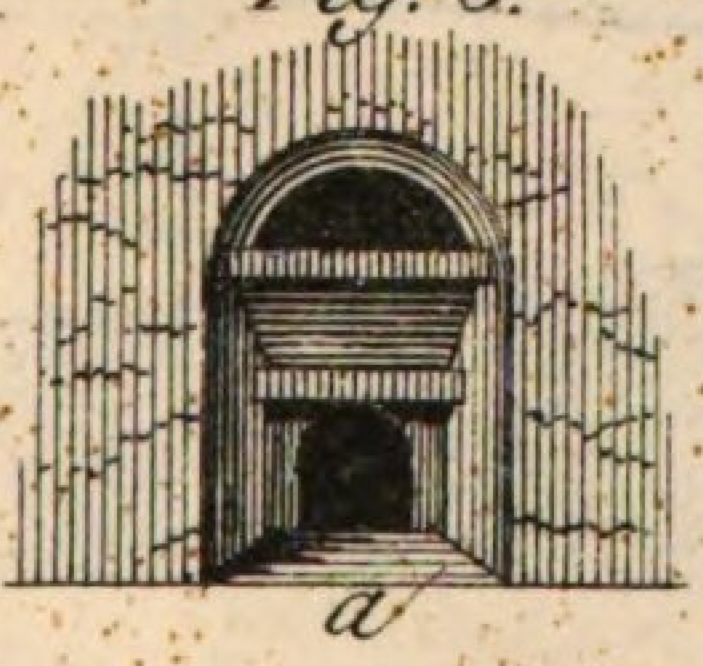


Fig. 7.

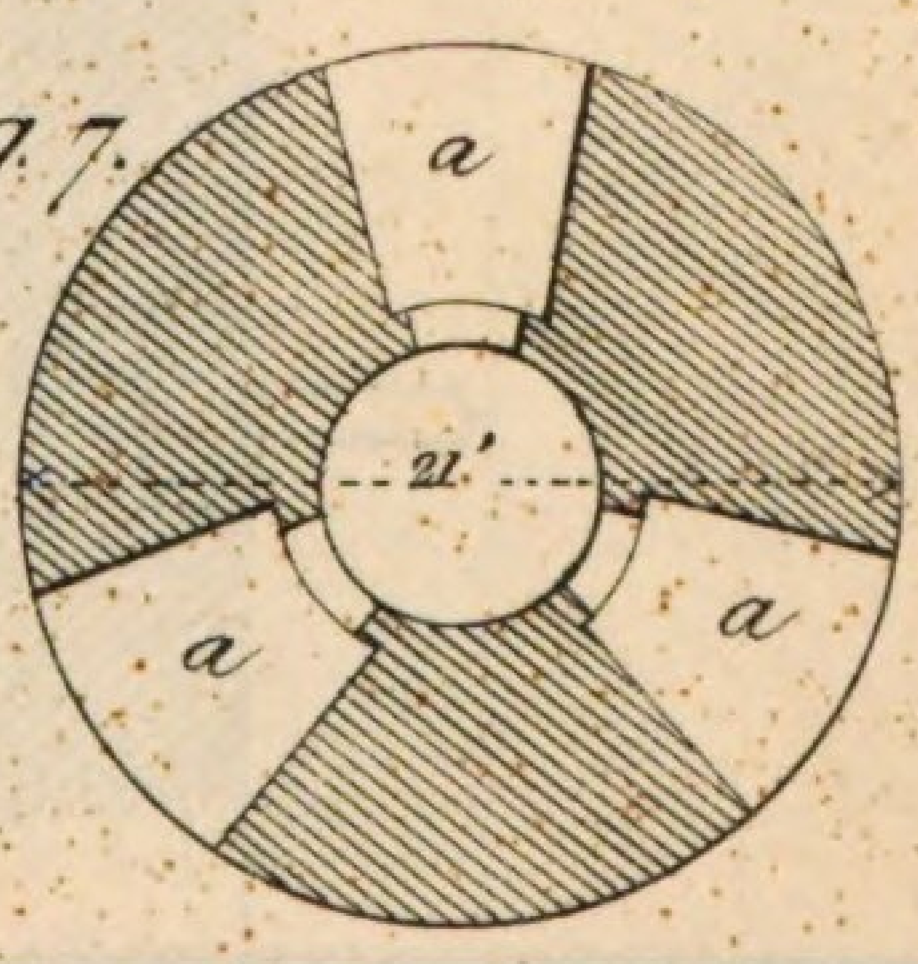
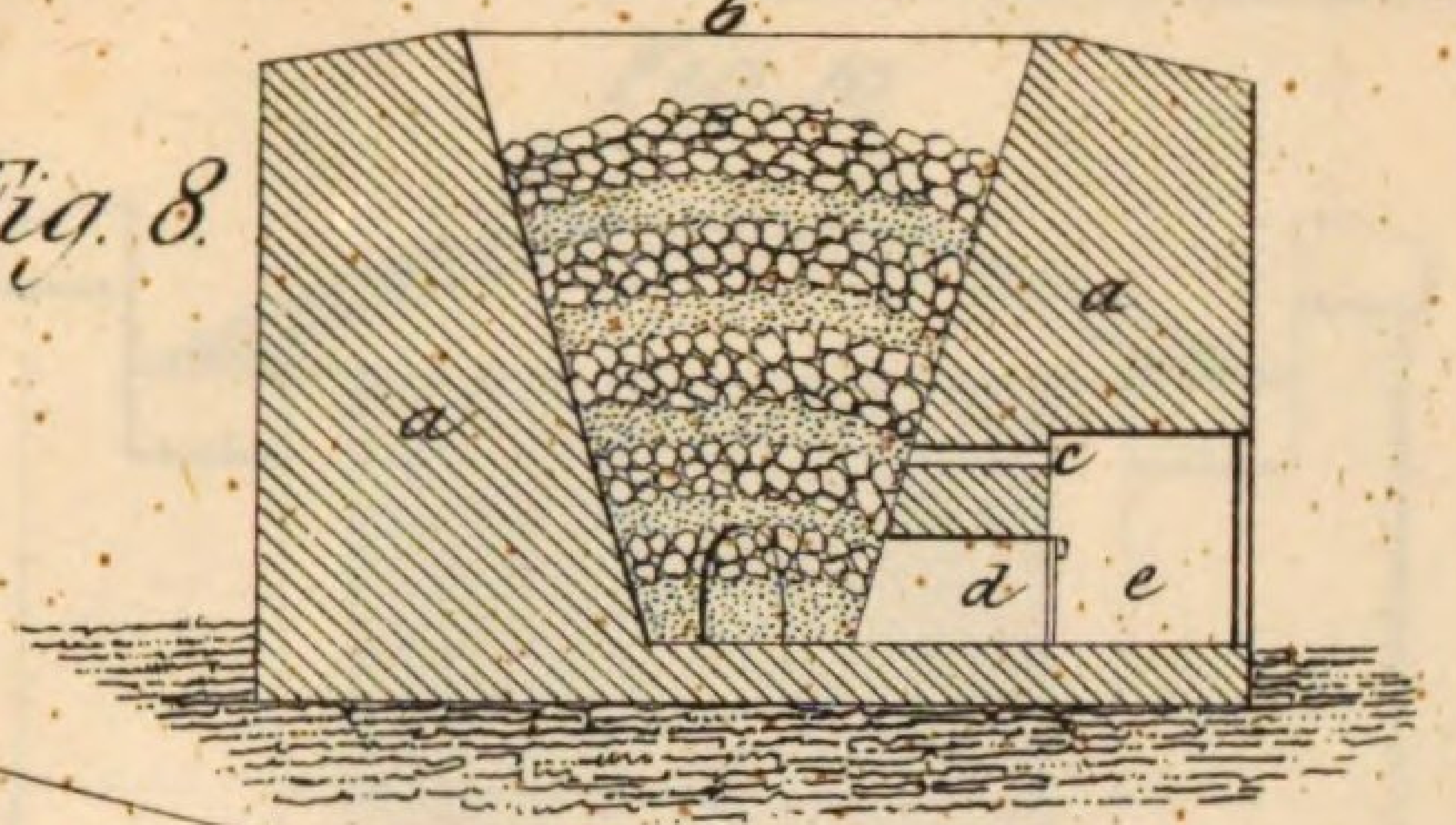


Fig. 8.



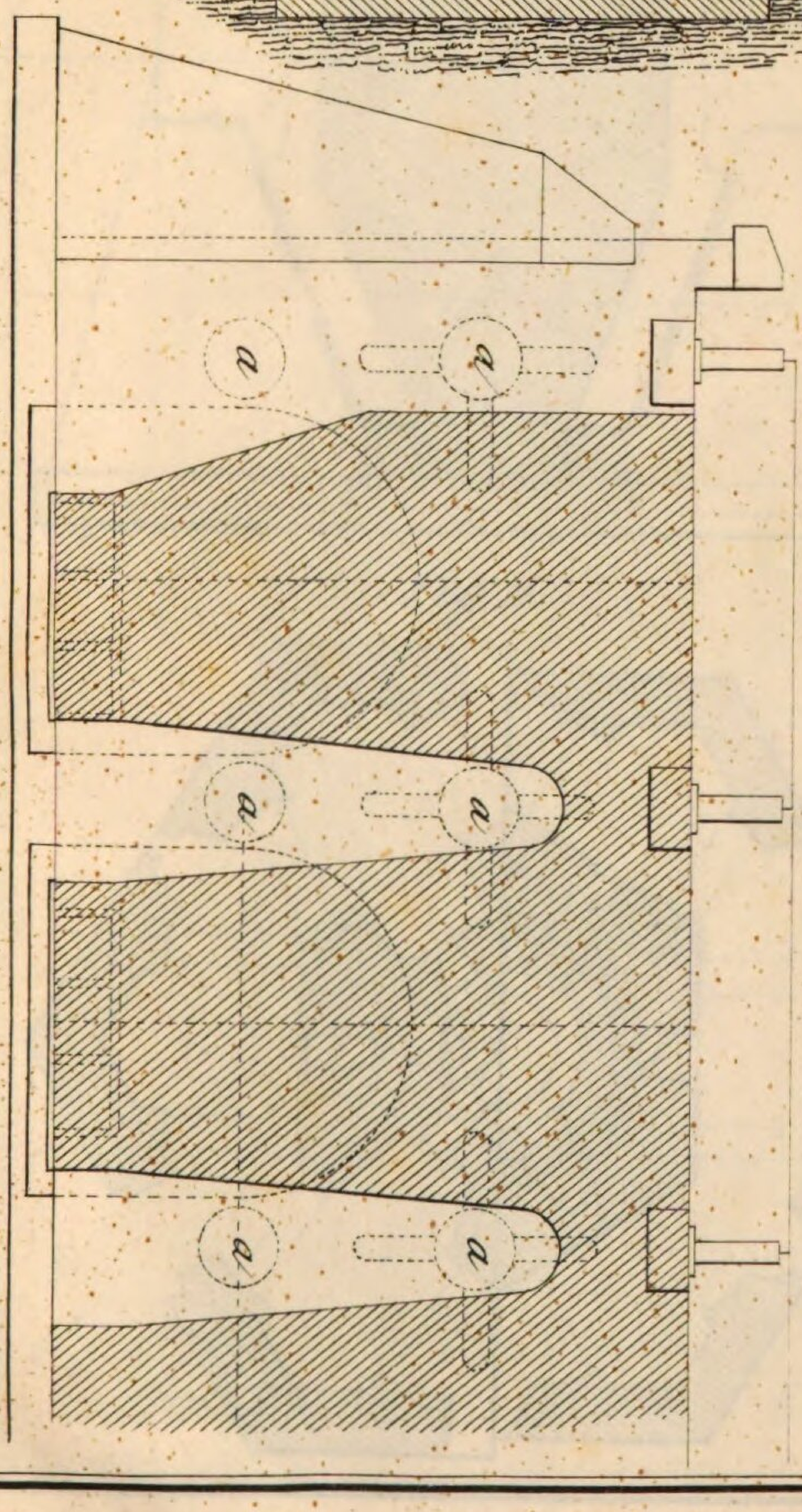


Fig. 9.

Fig. 10.

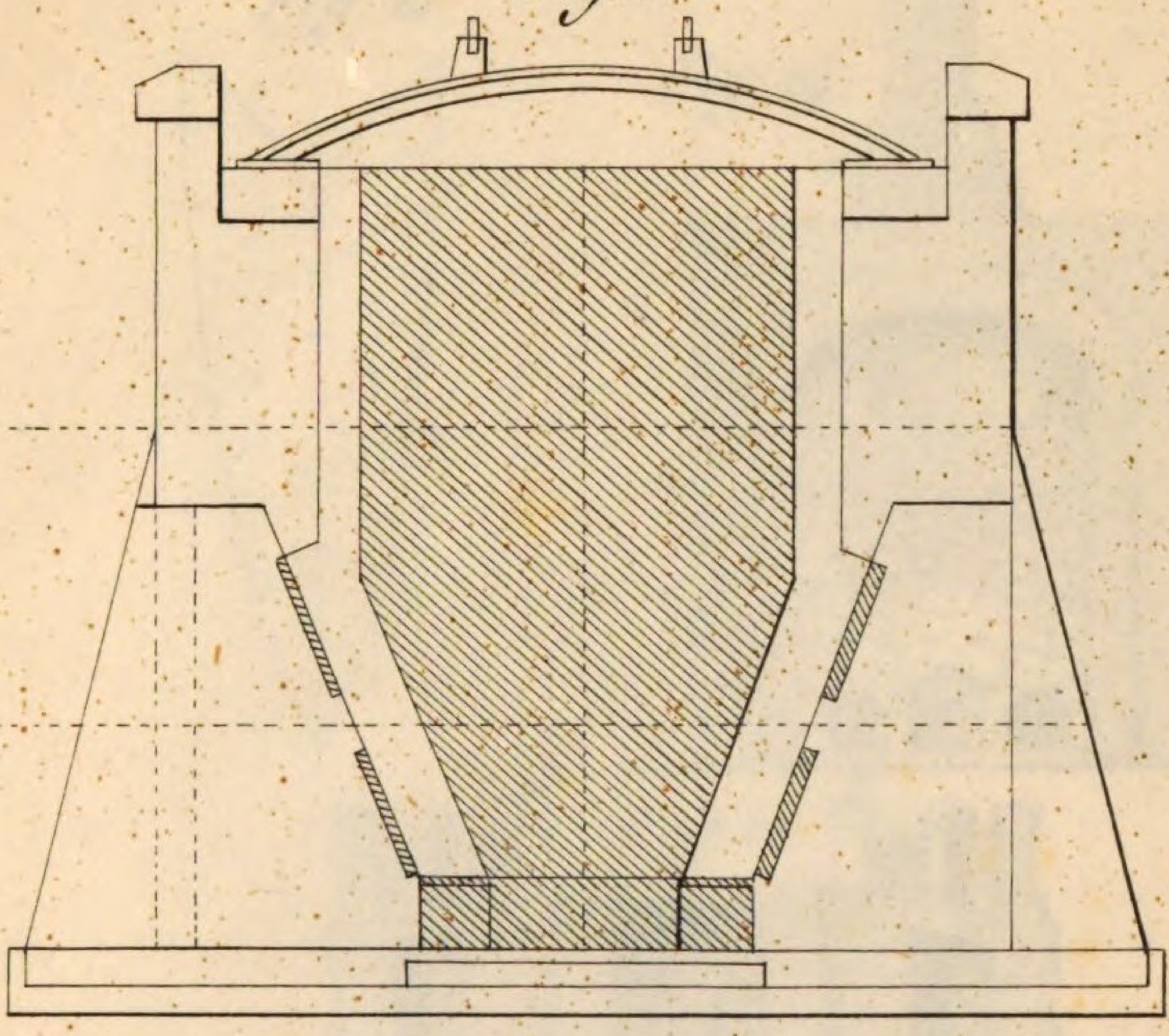
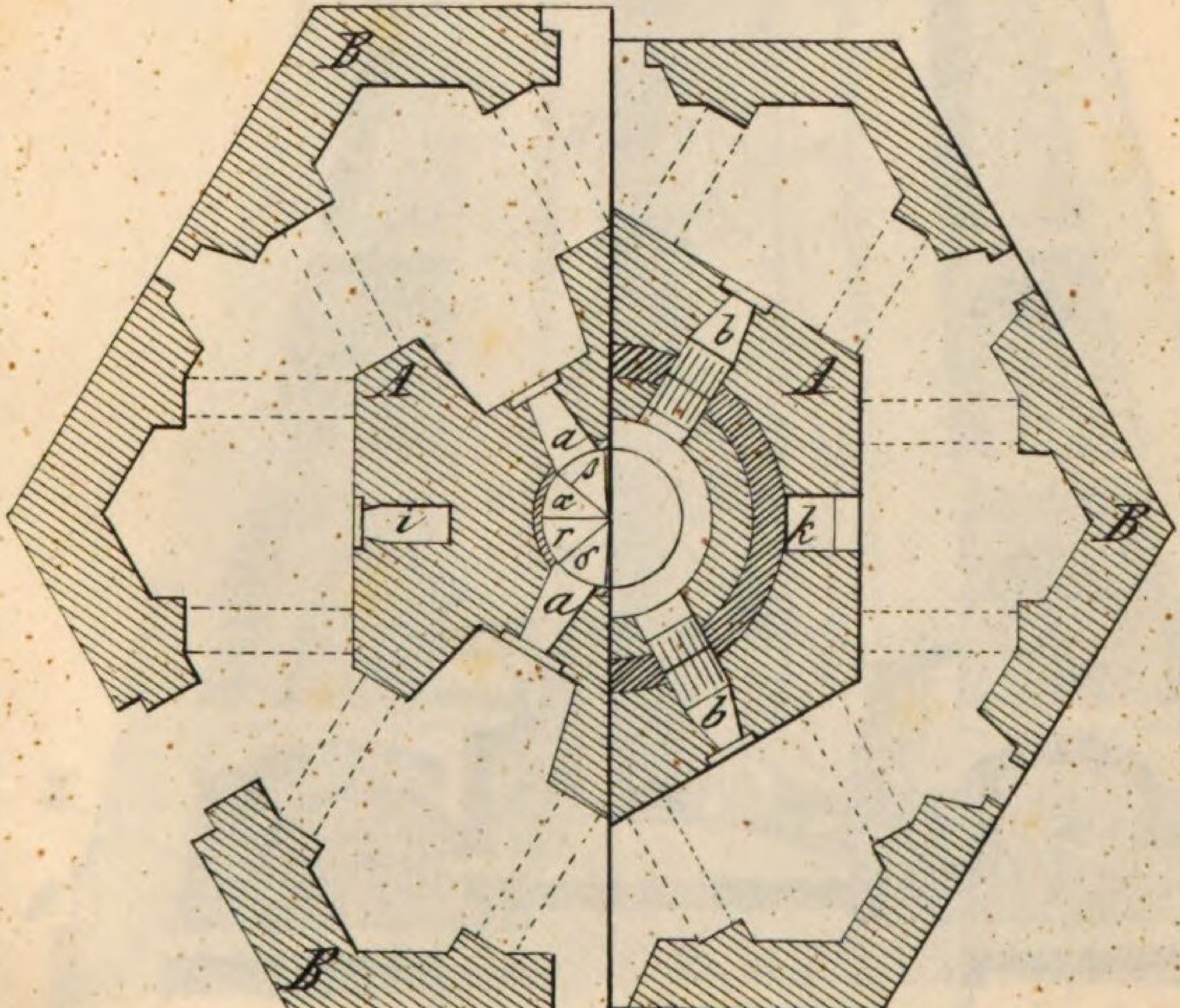


Fig. 11.



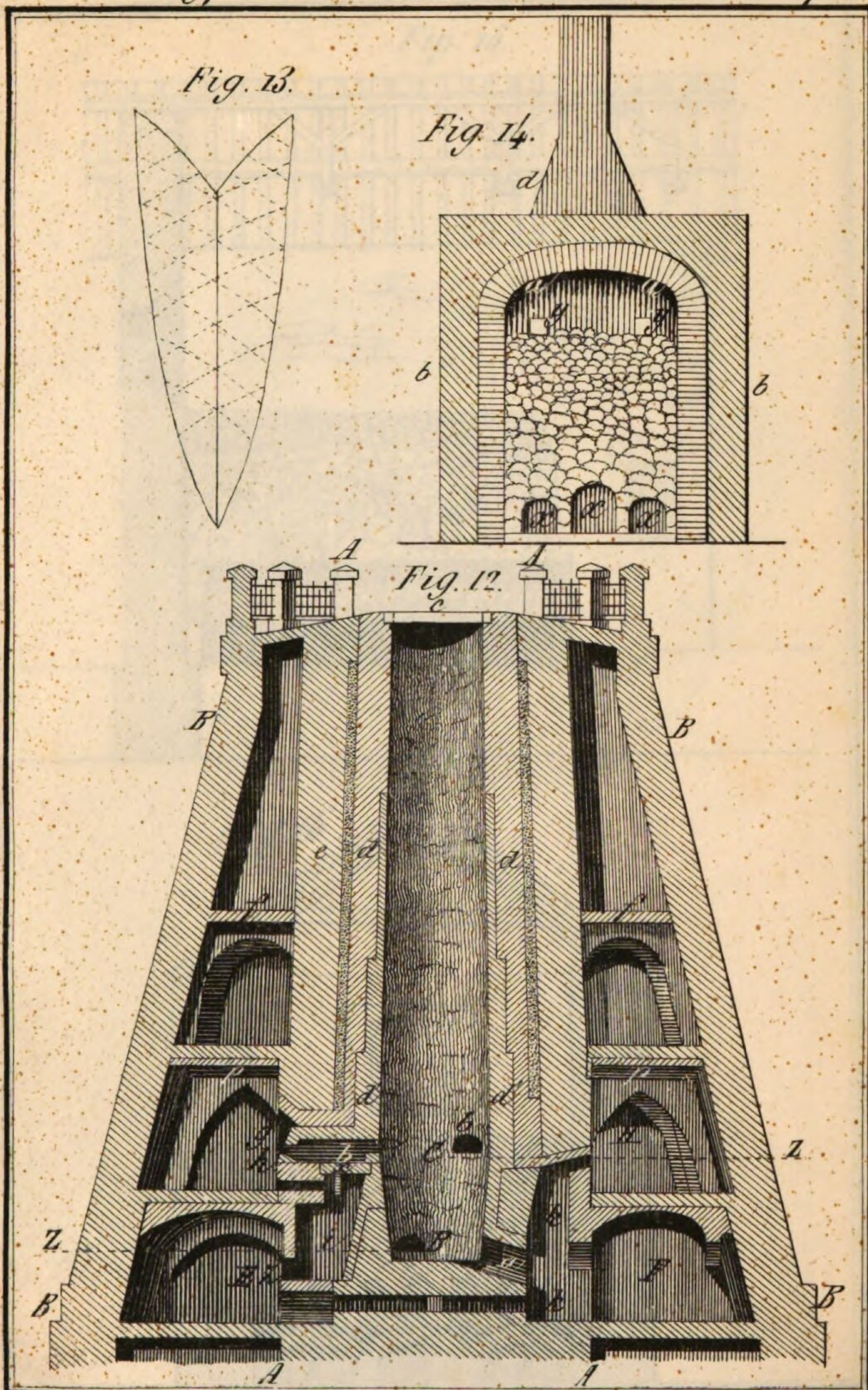

Fig. 13.
Fig. 14.
d
b
b
g
g
x
x
x
Fig. 12.
A
A
c
B
B
e
d
d
f
f
d
d
b
C
h
k
i
E
F
Z
Z
B
B
A
A

Fig. 15.

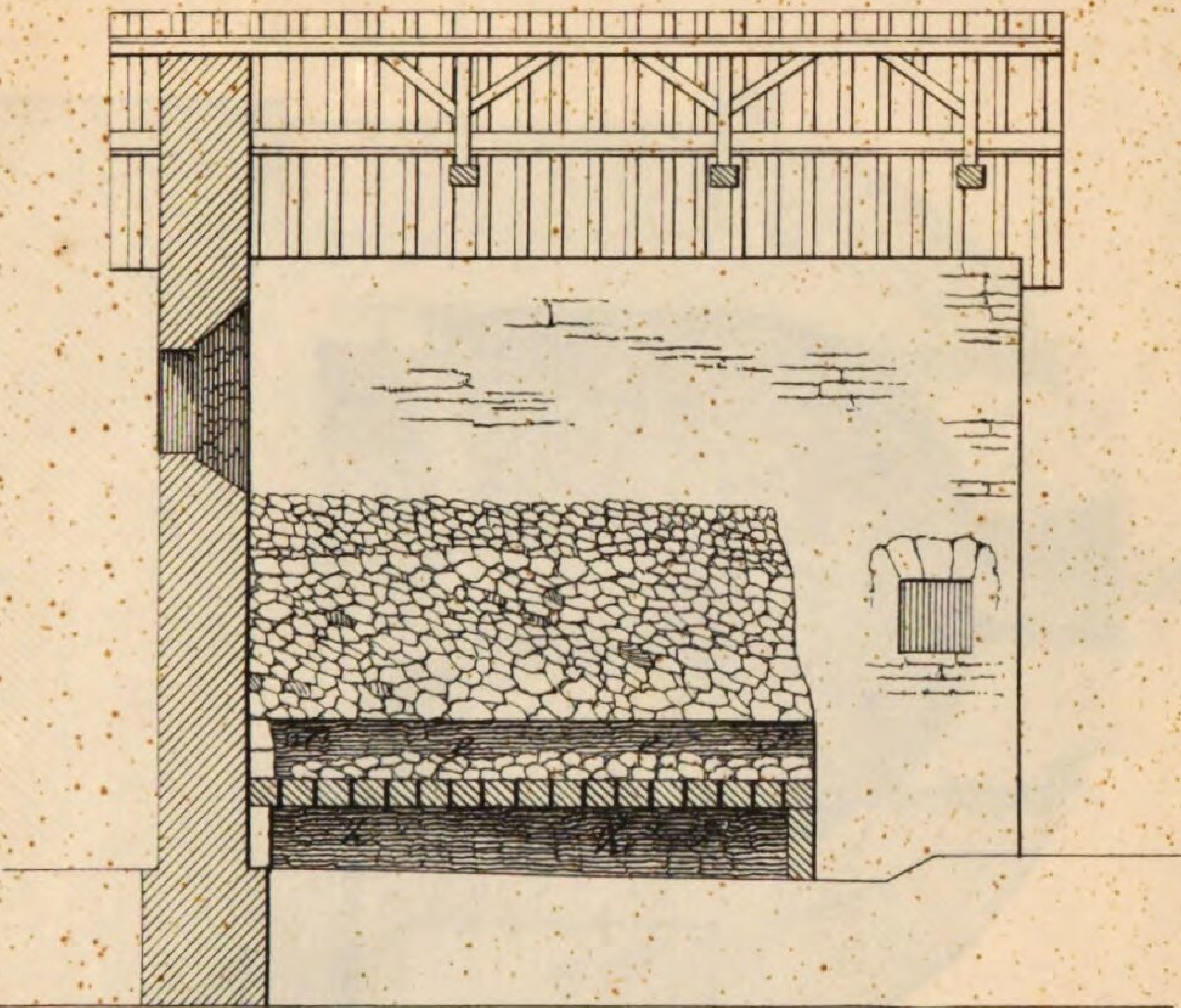
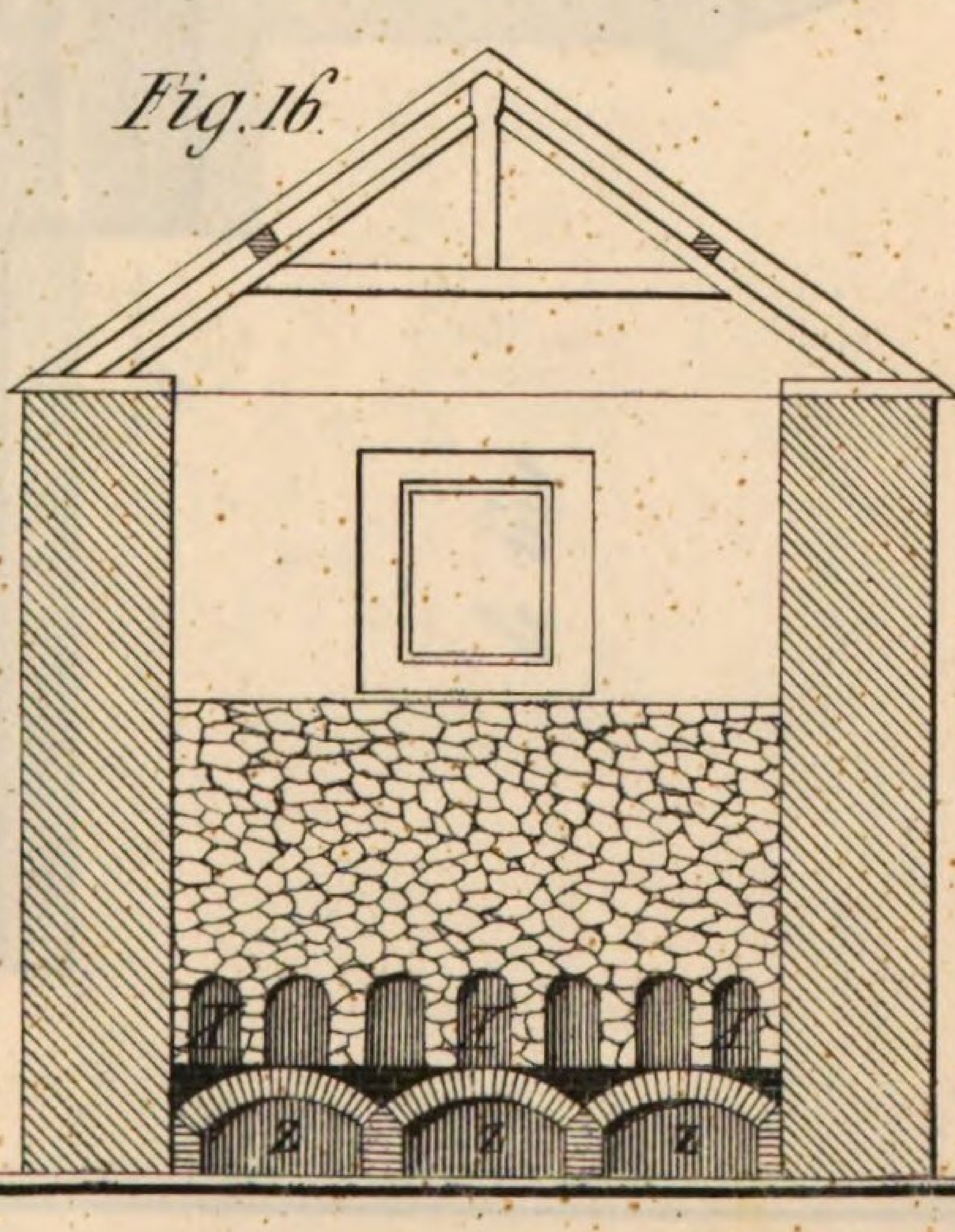


Fig. 16.



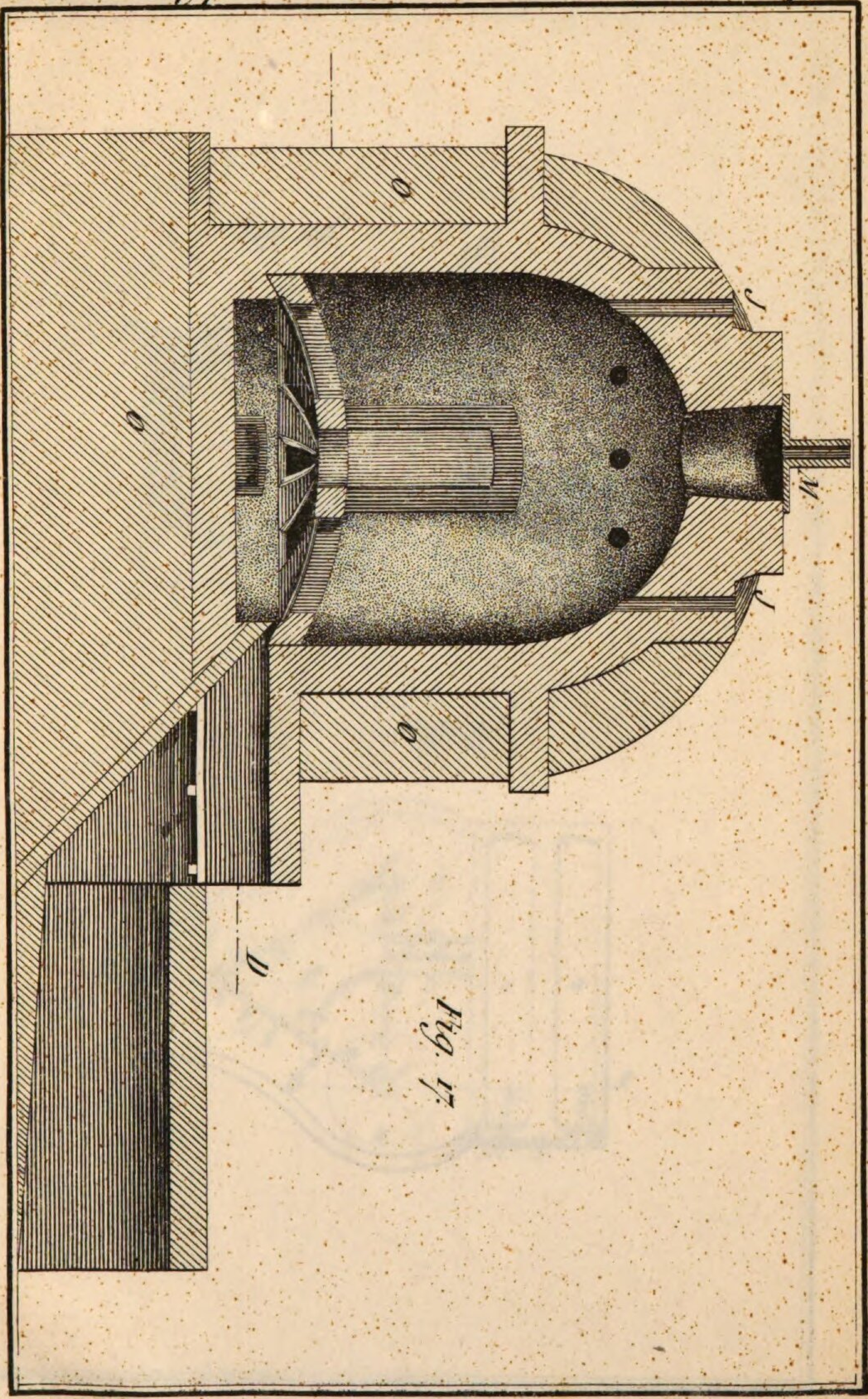


Fig. 17

Fig. 18.

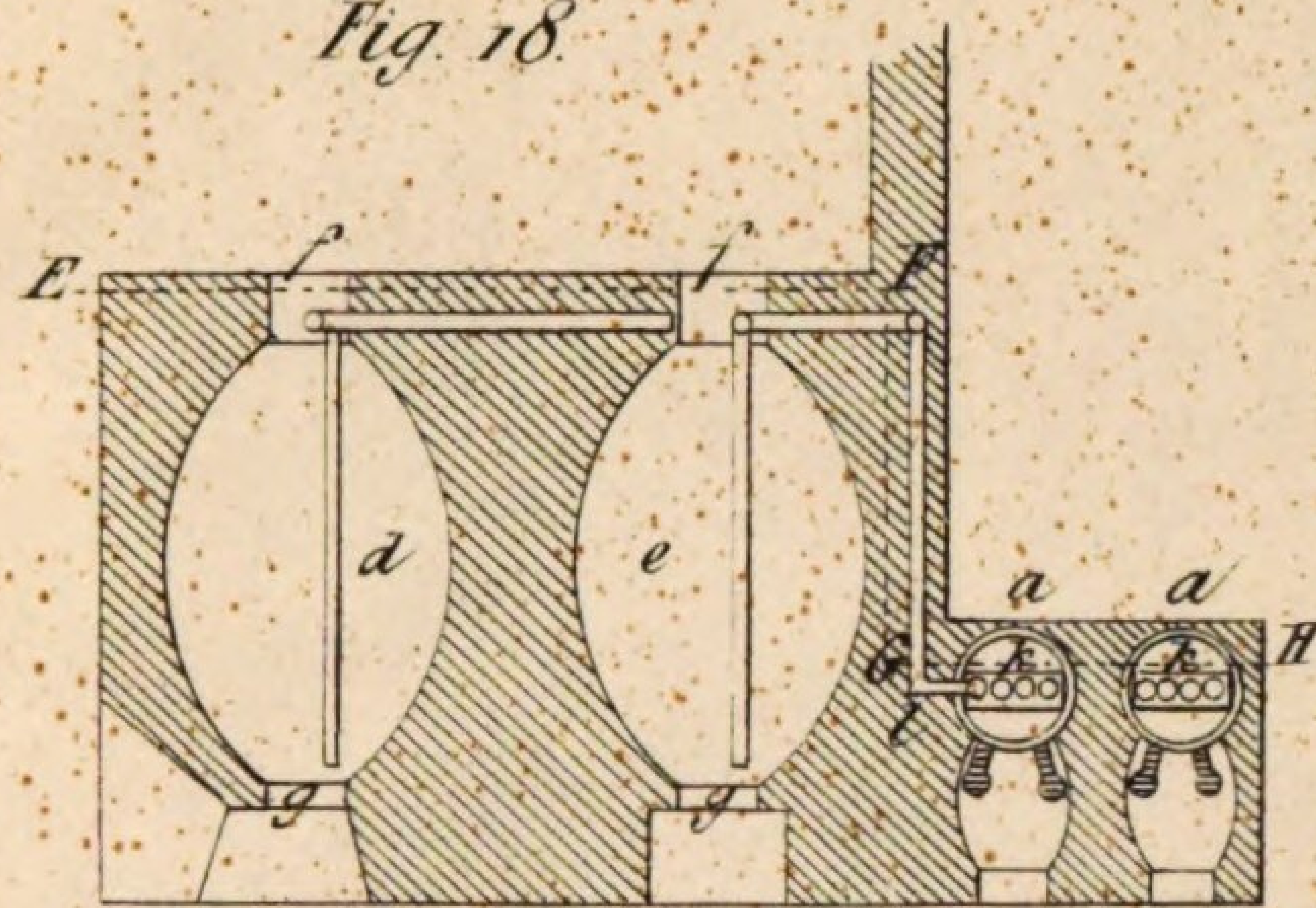


Fig. 19.

